

Sonja Ahonen

# Provepad-mobiilisovelluksen käytön kehitys kuntotutkimuksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

17.02.2017

Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Sonja Ahonen Provepad-mobiilisovelluksen käytön kehitys kuntotutkimuk- sissa 46 sivua + 3 liitettä 17.02.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Tutkimuspäällikkö, Kiia Miettunen Laboratorioinsinööri, Matti Leppä
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli kehittää Provepad-mobiilisovelluksen käyttöä kuntotutkimuksia varten Ramboll Finland Oy:n kuntotutkimustiemille. Provepad on aiemmin ollut kuntoarvioita varten kehitetty mobiilisovellus, minkä takia ohjelma vaati kehittämistä, jotta se soveltuisi kuntotutkimuksien apuvälineeksi. Insinööriyö rajattiin koskemaan vain asiakasyrityksen tutkimuskohdetta koskevia rakenteita.</p> <p>Insinööriyö aloitettiin esitutkimusvaiheella, jossa kerättiin tietoa riskirakenteista ja kuntotutkimusmenetelmistä kirjallisista lähteistä sekä yrityksen työntekijöiltä. Kerätyn tiedon perusteella luotiin ensimmäinen versio Provepadin tarkistuslistasta. Provepadin tarkistuslistaa testattiin asiakasyrityksen kohteessa tutkimusten kaikissa vaiheissa. Testauksien perusteella tarkistuslistoihin tehtiin muutoksia ja Provepadin ominaisuuksista tehtiin muutosehdotuksia Eventizerille. Provepad-ohjelman tehneen ja kehittävän yrityksen, Eventizerin kanssa käytiin kokouksia ja sähköpostikeskustelua, jonka perusteella Eventizer muokkasi Provepadin ominaisuuksia.</p> <p>Testausvaiheen aikana käytiin läpi yritysasiakkaan kohteen kosteus- ja sisäilmaolosuhteiden tutkimusten koko kaari läpi. Tutkimusten aikana testattiin Provepadin käyttöä tutkimusten eri vaiheissa.</p> <p>Lopputuloksena syntyi Provepad-tarkistuslista kuntotutkimuksia varten. Tarkistuslista on tarkoitettu pääasiassa tutkimussuunnitelma vaiheeseen, mutta sitä voi sellaisenaan soveltaa kenttätutkimusten muistiinpanovälineenä. Lopputuloksena saatiin myös tutkimussuunnitelma, tutkimusraportti sekä Provepad liite jotka jäävät yrityksen käyttöön. Provepad-liitteeseen kirjoitettiin tietoa Provepadin käytöstä yrityksen tutkimushenkilökuntaa varten sekä lyhyesti hallintaliittymän käyttöohjeita.</p> <p>Provepadiin insinööriyössä tehty tarkistuslista otetaan yrityksessä laajempaan testaukseen ja käyttöön. Jatkokehityksenä Provepadiin voidaan tehdä erilaisia tarkistuslistoja eri tutkimuksia varten, esimerkiksi julkisivu- ja merkkiainetutkimuksia varten.</p>	
Avainsanat	Mobiilisovellus, Kuntotutkimus, Tutkimussuunnitelma, Sisäilma

Author(s) Title Number of Pages Date	Sonja Ahonen Development of Provepad mobile application usage in condition surveys 46 pages + 3 appendices 17 February 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil engineering
Specialisation option	Structural engineering
Instructor(s)	Kiia Miettunen, Reaserch Manager Matti Leppä, Laboratory Engineer
<p>The aim of this engineering study was to develop a Provepad mobile application for condition surveys for the survey team of Ramboll Finland Oy. Provepad has previously been a mobile application developed for building inspection, which is why the program demanded development so it would be applicable for condition surveys. The study only dealt with structures that concerned the project of the client company.</p> <p>This engineering study started with a feasibility phase, where information about risk structures and condition survey methods was collected from literary sources and company employees. The first version of the Provepad checklist was based on collected data. Provepad's checklist was tested at the premises of the client company in all stages of the condition survey. Based on these tests, changes were made to the checklist and the changes suggested about Provepad's properties were made by Eventizer, the company which programmed and developed Provepad. Based on email discussion and held meetings, Eventizer modified Provepad's features.</p> <p>During the testing phase, humidity and indoor air condition surveys done at the premises of the client company were gone through from the beginning to the end. Provepad's checklist was tested in all different phases of the condition survey.</p> <p>The study resulted in a Provepad checklist for condition surveys. The checklist is intended mainly for the survey plan phase, but it can be applied for note-taking in field research. In this study, three documents were compiled. They were a survey plan, a condition survey and an appendix for Provepad. These three documents will remain only in company use. The Provepad appendix dealt with the use of Provepad's checklist for the company's research staff as well as brief instructions for using the management interface.</p> <p>The checklist made for Provepad will be taken into use and tested more in the company. In the further development, a variety of checklists can be made for Provepad for different studies, such as façade studies and examination of the tightness of structures by tracer gas.</p>	
Keywords	Mobile application, condition survey, survey plan, indoor air

# Sisällys

## Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet	1
1.2	Tutkimusmenetelmät ja rajaus	1
2	Riskirakenteet	2
2.1	Yläpohjat	2
2.1.1	Tasakatto kantavalla ontelolaatalla tai TT-laatalla	2
2.1.2	Tuulettumaton tasakatto teräsrungolla	5
2.2	Alapohjat	5
2.2.1	Ryömintätilalliset kerrokselliset alapohjat	5
2.2.2	Maanvastainen alapohja	6
2.3	Ulkoseinät	7
2.3.1	Tuulettumattomat ulkoseinärakennetyypit	7
2.3.2	Tuulettumaton lämmöneristetty sokkeli	7
2.3.3	Ikkunat	8
2.4	Välipohjat ja -seinät	8
2.4.1	Muuratut väliseinät	8
2.4.2	Kerroksellinen tiiliväliseinä	9
2.4.3	Liikuntasauaman eristekerros	10
2.4.4	Kerroksellinen välipohja	10
2.5	Tuulikaappi	11
3	Rakennetekniset ja sisäilmaolosuhteiden tutkimukset	11
3.1	Tutkimussuunnitelma	12
3.2	Kenttätutkimukset	13
3.2.1	Aistinvaraiset tutkimukset	14
3.2.2	Rakenneavaukset	18
3.2.3	Kosteusmittaukset	22
3.2.4	Sisäilmaolosuhteiden tutkimukset	25
3.3	Johtopäätökset ja korjausehdotukset	33
3.4	Raportointi	34
4	Kohteen tutkimustulosten analysointi ja johtopäätökset	34
4.1	Aistinvaraiset havainnot	35

4.1.1	Piha-alueet ja julkisivut	35
4.1.2	Vesikatto	35
4.1.3	Ryömintätilat	36
4.2	Rakenneavaukset ja materiaalinäytteet	37
4.3	Kosteusmittaukset	38
4.4	Sisäilmaolosuhteiden tutkimukset	38
4.5	Kokonaisuuden arviointi, johtopäätökset	39
5	Provepadin käytön kehitys	41
6	Yhteenveto ja loppupäätelmät	43
	Lähteet	45
	Liitteet	
	Liite 1. Provepad (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)	
	Liite 2. Tutkimussuunnitelma (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)	
	Liite 3. Tutkimusraportti (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)	

## Lyhenteet ja määritelmät

Aktinomykeetti	Sädesieni
AP	Alapohja
Asumisterveysasetus	Sosiaali- ja terveysministeriön asetus STMa 545/2015 asunnon terveydellisistä olosuhteista sekä tutkijoiden pätevyyksistä. Asetusta noudatetaan sisäilman olosuhteiden tutkimuksissa
Diffuusio	Kaasu siirtyy korkeammasta pitoisuudesta matalampaa pitoisuutta kohti tasatakseen yksittäisen kaasun pitoisuuseroja.
Kahitiili	Kalkkihiekkatiili
Kenttätutkimukset	Kuntotutkimuksia varten kohteessa, ”kentällä”, tehtävät tutkimukset, mittaukset ja muut toimenpiteet
Kermikate	Bitumikermistä valmistettu kate
Kondensoituminen	Kaasun tiivistymistä, esimerkiksi vesihöyryä tiivistyy kylmiin pintoihin. Kondensoitumista tapahtuu kun muodostuu kastepiste, lämpötila jossa vesihöyryä sisältävän ilman suhteellinen kosteus on 100 %
Konvektio	Lämmön siirtymistä nesteen tai kaasun virtausten mukana
Kuntoarvio	Aistinvaraisesti ja ainetta rikkomattomia menetelmiä käyttäen tehtävä tarkastus kohteeseen, jonka perusteella arvioidaan kohteen kuntoa. Apuna voidaan käyttää saatavia lähtötietoja, esimerkiksi rakennepiirustuksia. Kuntoarvioissa voidaan käyttää apuna esimerkiksi pintakosteusilmaisinta.
Kuntotutkimus	Rakennukseen tehtävä tutkimus, jossa tutkitaan tarkkaan vaurioituneita tai vaurioituneeksi epäilty rakenteet. Tutki-

muksissa suoritetaan erilaisia mittauksia, esimerkiksi kosteuspitoisuuksia, rakennekerroksien paksuuksia, olosuhde-seurantamittauksia, sekä suoritetaan rakenteiden avaamisia. Kuntotutkimuksia varten käydään läpi myös kohteen asiakirjoja, muun muassa vanhoja tutkimusraportteja ja rakenne- LVI- ja arkkitehtipiirustuksia. Kuntotutkimus voi kohdistua tiettyihin rakenteisiin tai aihealueisiin, esimerkiksi Kosteus- ja sisäilmatekniseen kuntotutkimukseen tai IV-kuntotutkimuksiin.

Ontelolaatta	Esijännitetty betonielementti laatta, jossa on onteloita
TB	Teräsbetoni
TT-laatta	Esijännitetty teräsbetonielementti, jonka poikkileikkaus on kahden T-kirjaimen muotoinen. Elementti ripalaatta
Tutkimusraportti	Sama asia kuin tutkimusselostus. Kuntotutkimuksista tehty raportti/selostus tutkimuksen tuloksista, vauriomekanismeista, johtopäätöksistä ja korjausehdotuksista
Tutkimussuunnitelma	Kuntotutkimuksia koskeva suunnitelma, jossa määritellään kuntotutkimuksen laajuus, tehtävät mittaukset ja muut toimenpiteet esimerkiksi rakenneavaukset ja merkkiainekokeet
US	Ulkoseinä
VP	Välipohja
VS	Väliseinä
YP	Yläpohja

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Tämä opinnäytetyö tehdään Ramboll Finland Oy:n korjausrakentaminen ja tutkimukset yksikölle. Yksikön tutkimuspuolelle ollaan ottamassa käyttöön tabletille suunniteltu Provepad-mobiilisovellus. Sovellus on suunniteltu kuntoarvioita varten ja siksi Provepad-mobiilisovellus vaatii kehittämistä, jotta se soveltuisi kunto- ja sisäilmatutkimuksiin apuvälineeksi.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Provepad-mobiilisovellus toimivaksi työkaluksi yrityksen tutkimusmenetelmiin. Provepadia voidaan kehittää käytettäväksi ainakin tutkimussuunnitelmavaiheessa jolloin, kohteeseen tehdään katselmuskäyntejä, jotka tyyliältään muistuttavat kuntoarvioita. Provepad-mobiilisovellusta voidaan kehittää käytettäväksi myös kenttätutkimuksissa muistiinpanojen apuvälineenä. Provepadin avulla yritetään vähentää kentällä tehtäviä paperisia muistiinpanoja ja nopeuttaa raportin kirjoittamista. Iso osa Provepadin käytön kehittämistä on tarkistuslistojen tekeminen yrityksen omaa käyttöä varten. Provepad tekee sovellukseen syötetyistä havainnoista ja tutkimustuloksista MS Word -raporttipohjan. Osa opinnäytetyötä on kehittää raporttipohjaa sellaiseksi, että se olisi mahdollisimman suoraan käytettävissä tutkimussuunnitelmaan tai tutkimusraporttiin. Opinnäytetyön yhteydessä käydään läpi tutkimusprojektin koko prosessi. Opinnäytetyön lisätyönä on arvioida tutkimusten tiedonkulkua ja miettiä parannusideoita. Provepadin käyttöä esitellään lyhyesti luvussa 5, mutta tarkemmin liitteessä 1, joka jää yrityksen käyttöön.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät ja rajaus

Opinnäytetyössä käydään läpi koko rakenneteknisten ja sisäilmaolosuhteiden tutkimusten prosessi sekä mietitään ja testataan provepadin käyttömahdollisuuksia tutkimusmenetelmien työkaluna. Aluksi kerätään kirjallista lähdeaineistoa kohteeseen liittyvistä riskirakenteista ja tutkimusmenetelmistä. Tietoa tutkimusmenetelmien tämän hetkisestä käytöstä yrityksessä saadaan kysymällä yrityksen muilta työntekijöiltä ja yrityksen opinnäytetyön ohjaajalta. Riskirakenteiden ja kuntotutkimusten teoriaa sovelletaan



opinnäytetyön kohteeseen ja kerätyn tiedon perusteella Provenadiin luodaan tarkistuslistoja ja muuta sisältöä, joita sen jälkeen testataan asiakasyrityksen kohteessa.

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty vain opinnäytetyöhön liittyvän kohteen kannalta oleelliset riskirakenteet ja käytetyt tutkimusmenetelmät, asiakasyrityksen toiveet huomioiden. Opinnäytetyöhön liittyvä kohde on 1980-luvulla valmistunut kaksikerroksinen koulurakennus. Kohteen kantavat rakenteet ovat teräsbetonisia, pääosin elementtirakenteita ja osin paikallavalurakenteita. Rakennuksen alapohjat ovat pääosin ryömintätillaisia. Väestönsuojan alapohja on maanvastainen. Rakennuksessa on sisäpuolisella vedenpoistolla varustettu tasakatto kermikatteella. Rakennus on pääosin tiiliverhoiltu.

## **2 Riskirakenteet**

Tässä luvussa käsitellään rakenneosittain ensin riskirakenteita yleisellä tasolla, jonka jälkeen teoriaa sovelletaan opinnäytetyön tutkimuskohteeseen. Riskirakenteiden ja asiakasyrityksen toiveiden perusteella valitut tutkimusmenetelmät ja tutkimusprosessin vaiheet on esitetty tarkemmin luvussa 3 Rakennetekniset ja sisäilmaolosuhteiden tutkimukset. Kohteen tutkimustulosten analysointi on esitetty luvussa 4.

### **2.1 Yläpohjat**

#### **2.1.1 Tasakatto kantavalla ontelolaatalla tai TT-laatalla**

Vesikaton mahdollisia vuotokohtia ovat erilaiset puutteelliset liittymät ja läpiviennit, vesikaton katemateriaalin ikääntymisen takia muodostuneet vauriot, tai esimerkiksi kattoikkunat, joiden vierustalle saattaa kinostua lunta. Yläpohjan rakenteet voivat kattovuotojen lisäksi kostua rakennuksen sisäpuolelta diffuusion ja ilmapuotojen mukana kulkeutuvan kosteuden takia, jos yläpohjasta puuttuu höyrynsulku. Kosteutta voi kulkeutua diffuusion ja konvektion mukana yläpohjan epätiivittien läpivientien tai höyrynsulun epätiivin saumauksen kautta. Tasokattoisten koulurakennusten yläpohjien tuuletuksessa ja vedenpoistossa on usein ongelmia. Näiden seurauksena yläpohja voi kostua eikä pääse kuivumaan kunnolla ja pitkäaikainen kosteus voi aiheuttaa mikrobikasvustoa. Kevyt-soraeristeiset kattorakenteet on todettu aiheuttavan vähiten kosteusongelmia, sillä kevytsora tasaa kosteuksia, mikäli yläpohjan eristekerroksen tuuletus on kunnossa. Yläpohjan alapuolisissa tiloissa mikrobivauriot ovat siis todennäköisemmin kevytsoraeris-

te-yläpohjaisissa rakennuksissa vesikattovuotojen seurausta. Vesivuotojen lähteet tulee kuitenkin aina varmistaa. Räystäspellitykset ovat usein aikakaudelle tyypillisesti niukkoja, joten räystäsrakenteiden kunto ja todellinen toteutus tulee selvittää joko vanhojen tutkimusselostusten tai uusien rakenneavausten perusteella. Vanhetessaan kermikate haurastuu ja halkeilee, mikä voi aiheuttaa vesivuotoja. Kermikatteeseen on voinut tulla vaurioita myös mekaanisesta kulutuksesta, kuten lumenpoiston yhteydessä. Kermiin on voinut tulla kupruja, poimuja tai pusseja kermin alustan liikkeiden tai diffuusiona kertyneen kosteuden vaikutuksesta. Kermi voi olla kupruilla tai rypyillä myös, jos kermi on korjattu lisäämällä päälle uusi pintakermi eikä vanha kermi ole ollut tarpeeksi tasainen. [1, osa 2 s.214–217; 2, s.43–44; 4 s.92–93; 5, kappale 7, s 31–38.]

Tasakattojen vedeneristeen, yleensä bitumikerman, kunto on tärkeä selvittää vanhene-  
misen ja muiden vaurioiden varalta. Katon kunnosta on hyvä kerätä myös vanhaa korjaushistoriaa mahdollisten muutostöiden varalta. Vesikaton ja yläpohjan kuntoa tutkitaan aistinvaraisesti sekä rakenneavausten ja materiaalinäytteiden avulla. Rakenneavauksissa ja aistinvaraisesti kannattaa tutkia erityisesti räystäsrakenteita, läpivientejä ja muita liittyviä rakenteita. [2, s.43–44; 5, kappale 7, s 31–38.]

Tämän opinnäytetyön koulurakennuksen pääasialliset yläpohja-rakennetyypit ovat YP1 ja YP3. Niiden päällimmäiset rakennekerrokset ovat yhtenevät, mutta YP1:ssä kantavana rakenteena on ontelolaatta ja YP3:ssa TT-laatta. Kohteen tiloihin on tullut vesivuotoja joten vesikaton rakenteet ja niiden kunto on tärkeä selvittää.

YP1:n ja YP3:n rakennekerrokset ylhäältä alaspäin:

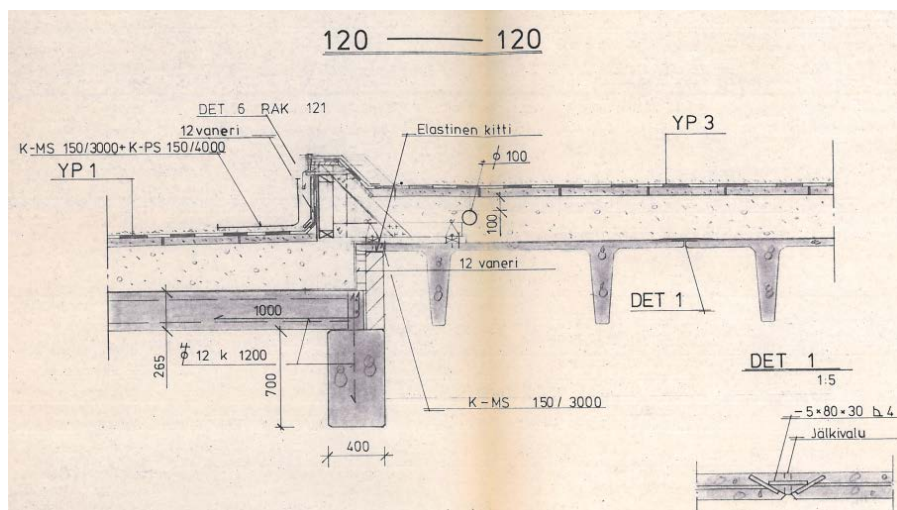
- suojakiveys
- vedeneristys
- kevytsorabetonilaatta
- kevytsora
- höyrynsulku
- ontelolaatta / TT-laatta.

Nämä ovat alkuperäissuunnitelmien mukaiset yläpohjarakenteet, mutta vesikattoon on tehty korjausremontteja. Alkukatselmuksessa havaittiin, että rakennuksen vesikatolla ei ole suojakivetystä, vaan sirotepintainen kermikate. Lähtötiedoista saatiin selville, että

kermikatteeseen on käyty viimeisen puolen vuoden sisällä tekemässä korjauksia vesivuotojen takia. Tärkeää on käydä varmentamassa rakenneavauksin, mikä on todellinen rakenne yläpohjissa ja onko pelkästään pintakermi lisätty vanhan kermikatteen päälle.

Tämän kohteen räystäsrakenteista on aiemmin puuttunut myrskypellitys, mutta muuten räystäät on todettu pääasiallisesti toimiviksi. Edellisten tutkimusten korjausehdotuksessa suositellaan myrskypellin lisäämistä ja B-lohkon allaskorkeuden korjaamista vanhojen räystäsrakenteiden päälle. Räystäsrakenteista on syytä tarkistaa onko myrskypellitys lisätty. [1, osa 2 s. 214–217.]

Rakennetyyppien YP1 ja YP3 liitos on mahdollinen riskirakenne. Liitos näkyy kuvassa 1. Jos liitoksen räystäsrakenteet ovat puutteelliset siitä voi seurata vesivuotoja rakennuksen sisäpuolelle vanerin ja tiilimuurauksen läpi. Yläpohjaan päässyt kosteus voi aiheuttaa myös mikrobikasvusta liitoskohdan puurakenteisiin. Piirustuksissa näkyvä putki voi olla joko yläpohjan tuuletusputki tai sisäisen vedenpoiston putkistoa. Sisäisen vedenpoiston putki voi vuotaessaan aiheuttaa vaurioita liitosrakenteelle ja vesivuotoja rakennuksen sisälle kantavien elementtien liitosten kautta. Rakenteen rintataite on myös riskirakenne. Alemman tason reunaan voi kinostua lunta ja patoutunut vesi voi valua räystäsrakenteen sisään, jos kermin ylösnosto ei ole tarpeeksi korkea tai se on muuten vaurioitunut. Puurakenteiden kunto ja rakenteen toimivuus tarkistetaan rakenneavauksella ja materiaalinäytteillä. Rakenneavauksessa arvioidaan myös räystäsrakenteen kunto ja toimivuus.



Kuva 1. Erilaisten yläpohjien liitos

### 2.1.2 Tuulettumaton tasakatto teräsrungolla

Loivissa tuulettumattomissa yläpohjarakenteissa, joissa eristeenä on mineraalivilla, on usein todettu olevan kosteus- ja mikrobiongelmia. Ongelma johtuu yleensä höyrynsulun puuttumisesta tai sen vuotamisesta. Myös puutteellinen vedenpoisto voi aiheuttaa ongelmia. Tällaisten rakenteiden kunto tulee selvittää aistinvaraisesti sekä rakenneavausten ja materiaalinäytteiden avulla. [1, osa 2 s. 214–217.]

Opinnäytetyön tutkimuskohteessa on rakennetyyppi YP2. Sen rakennekerrokset ylhäältä alaspäin ovat:

- suojakiveys
- vedeneristys
- jäykkä mineraalivilla
- teräspoimulevy
- teräsrunko.

Tässä kohteessa ne ovat kuitenkin vain IV-konehuoneiden rakenteita, joten ne eivät aiheuta suurta riskiä sisäilman kannalta. Rakenteet on hyvä kuitenkin tarkastaa aistinvaraisesti vesivuotojen varalta.

## 2.2 Alapohjat

### 2.2.1 Ryömintätilalliset kerrokselliset alapohjat

Ryömintätilan olosuhteisiin vaikuttaa muun muassa ryömintätilan tuulettuminen, alapohjan rakennekerrosten lämmöneristys, sade- ja valumavedet, ryömintätilan pohjan materiaali ja kosteustuotto. Ryömintätilassa ei saa olla orgaanista materiaalia esimerkiksi muottilaudoitusta, sillä etenkin kesäisin ryömintätilan kosteus voi hetkellisesti nousta hyvinkin korkeaksi ja näin luo otolliset olosuhteet mikrobivaurioille. Ryömintätilat tutkitaan huolellisesti aistinvaraisesti ja tarpeen tullen materiaalinäyttein. Ryömintätilan suhteellista kosteutta ja lämpötilaa voidaan mitata seuranmittauksin tallentavilla mittalaitteilla. Ryömintätilan tuulettuvuutta arvioidaan tuuletusaukkojen tai -putkien määrääarviolla ja arvioimalla ilmapirta niiden läheisyydessä. Ryömintätilan yläpuolista alapohjan

kuntoa voidaan tutkia rakenneavauksin, materiaalinäyttein ja kosteusmittauksilla. [1, osa 2 s. 126–128; 3 s.157–160; 5, kappale 5; 6.]

Ryömintätilat suunnitellaan pääasiassa alipaineiseksi sisäilmaan nähden, joten vesihöyryn konvektio aiheuttaa suuremman kosteusvaurion riskin ryömintätilan yläpuolisiin alapohjarakenteisiin kuin diffuusio. Alapohjarakenteiden kylmille pinnoille voi kertyä myös kondenssi vettä. Alapohjaan päässyt kosteus voi aiheuttaa eristekerroksissa mikrobikasvustoa. Ryömintätilasta ja alapohjan eristekerroksista epäpuhtauksia voi päästä sisäilmaan epätiivien läpivientien tai liittyvien rakenteiden ilmavuotojen mukana. Ilmavuotoja voi tulla myös muuta kautta, esimerkiksi pintalaatan halkeamista. [1, osa 2, s.126-128, 3 s. 157–160.]

Opinnäytetyön tutkimuskohteen useimmissa ryömintätilallisissa alapohjissa rakenneytyppinä on AP1. Rakennekerrokset ovat ylhäältä alas lueteltuna:

- pintamateriaali
- teräsbetoni
- kevytsorabetoni
- kevytsora
- ontelolaatta.

Ryömintätilan kunto tulee tarkistaa kauttaaltaan edellä mainittujen seikkojen kannalta. Tässä kohteessa alapohjaa tutkitaan rakenneavauksin ja materiaalinäyttein vain tuuli-kaapin osalta, missä on asiakasyrityksen mukaan aiemmin todettu hajuhaittoja.

### 2.2.2 Maanvastainen alapohja

Maanvastaisissa rakenteissa kosteus siirtyy maasta rakenteisiin yleensä diffuusiolla ja kapillaarisesti. Tiivis betoni useinkin estää mikrobivaurioiden ja muiden epäpuhtauksien siirtymisen sisäilmaan, mutta jos laatussa on halkeilua ja tai puutteellisia läpivientejä ilmavuotojen mukana tulevat epäpuhtaudet voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia. Maanvastaisen alapohjan kunto voidaan tarkistaa rakenneavauksin, kosteusmittauksin ja materiaalinäyttein. Rakenteen ilmavuotokohdat on hyvä selvittää tiiveystarkasteluin, sillä niitä kautta vauriot ja epäpuhtaudet aiheuttavat hajuhaittoja ja sisäilmaongelmia. [1, osa 2 s. 114–116; 3 s.151.]

Tämän rakennuksen maanvastainen TB-laatta on väestönsuojan rakenteita, joten ne ovat todennäköisesti tarpeeksi paksut ja tiiviisti tehdyt estämään epäpuhtauksien siirtymisen sisäilmaan. Väestönsuojan rakenteita ei myöskään haluta rikkoa rakenneavauksin tai muilla porauksilla.

## 2.3 Ulkoseinät

### 2.3.1 Tuulettumattomat ulkoseinärakennetyypit

Tuulettumattomissa ulkoseinärakenteissa on usein todettu löytyvän kosteus- ja mikrobivaurioita. Lämmöneristeiden kostuminen johtuu joko pitkään johtuneesta sateesta, joka tunkeutuu tiiliverhouksen läpi seinärakenteen sisään tai puutteellisten ikkuna ja räystäspelttien kautta. Mikrobivarioitumisen riski on suuri, koska rakenne ei ole tuulettuva, joten kastuneet rakenteet eivät pääse kuivumaan kunnolla. Tällaisten ulkoseinärakenteiden kunto tutkitaan rakenneavauksin ja materiaalinäytteiden avulla. Ulkoseinän sisäkuoren tiiveys on syytä tutkia esimerkiksi merkkiainekokein, jotta saadaan selville kulkeutuvatko epäpuhtaudet sisäilmaan ilmavuotojen mukana. [1, osa 2 s. 191–193; 3 s. 120–121.]

Tutkimuskohteen yleisin ulkoseinärakennetyyppi on joko US3 (tiili-villa-tiili) tai US2 (tiili-villa-betoni). Nämä rakennetyypit ovat tuulettumattomia. Rakennetyypin US3 kohdalla riski sisäilman kannalta on suurempi, koska tiili on huokoista materiaalia ja muurauksen saumat voivat vuotaa, joiden kautta epäpuhtauksia voi päästä sisäilmaan ilmavuotojen mukana. Kohteen aiemmissa tutkimuksissa tuulettumattomissa ulkoseinärakenteissa on todettu kosteus ja mikrobivaurioita. Vaurioiden laajuutta selvitetään tekemällä lisää ja enemmän rakenneavauksia eri puolille rakennusta eri kohtiin kuin aiemmissa tutkimuksissa.

### 2.3.2 Tuulettumaton lämmöneristetty sokkeli

Sokkelirakenteissa, jossa lämmöneriste on lähellä maanpintaa, eriste voi kostua helposti esimerkiksi kapillaarisen veden myötä tai puutteellisten ikkunapellitysten kautta. Rakenteet eivät myöskään pääse kuivumaan tuuletuksen puuttumisen myötä. Mikrobivauriot voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia epäpuhtauksien kulkeutuessa sisäilmaan ilmavirtojen mukana alapohjan liittymien kautta tai tiilimuurauksen saumojen ilmavuoto

kohdista. Rakenteen kunto tutkitaan samalla tavalla kuin muidenkin tuulettumattomien ulkoseinien kunto. [1, osa 2 s. 191–193.]

Rakennetyyppi US6:n rakennekerrokset ovat sisältä ulospäin kahitiili, mineraalivilla, betonikuori. Sitä esiintyy vain pienillä alueilla. Se on lähinnä sokkelin rakennetyyppi ja pääasiassa korkeiden ikkunoiden alapuolella. Rakenteen kunto tutkitaan samoin keinoin kuin muissa ulkoseinärakenteissa.

### 2.3.3 Ikkunat

Ikkunat voivat vaurioitua sää- tai käyttörasituksista, huollon puutteesta tai puutteellisesta pintakäsittelystä tai viallisista pellityksistä. Rakenteisiin päässyt kosteus voi aiheuttaa mikrobivaurioita ikkunan puurakenteissa ja eristeissä. Puiset ikkunarakenteet voivat myös lahota. Epäpuhtaudet voivat päästä ilmavuotojen mukana sisäilmaan ikkunan karmiliittymien tai ulkoseinän epätiiviyiskohtien kautta. Ikkunarakenteiden kuntoa ja tiiviyttä tutkitaan aistinvaraisesti, rakenneavauksin sekä merkkiainekokein muun ulkoseinän tiiviyden tutkimisen yhteydessä. [1, osa 2 s. 200–203; 3 s. 176–180.]

Kohteessa oleva rakennetyyppi US4 on pelti-villa-tiili rakenteinen. Rakennetyyppi US4 sijaitsee ikkunoiden välisillä aluilla ja ovat ikkunan korkuisia. Näiden vyöhykkeiden ylä- ja alapuolella on joko rakennetyyppi US2 tai US3. US4:n rakennetyypin riskit liittyvät lähinnä ikkunoiden riskeihin. Kohteen ikkunoiden kunto arvioidaan aistinvaraisesti, rakenneavauksin sekä tiiveyskokein ulkoseinien tiiveyden tutkimisen yhteydessä.

## 2.4 Välipohjat ja -seinät

### 2.4.1 Muuratut väliseinät

Tiiliseinässä vesi voi nousta kapillaarisesti jopa yhden metrin. Jos tiiliväliseinä jatkuu perustuksiin asti, voi maapohjassa oleva kosteus nousta kapillaarisesti alapohjan yläpuolelle aiheuttaen kosteusvaurioita väliseinään ja siinä kiinni oleviin rakenteisiin. Kosteus aiheuttaa maalin ja rappauksen hilseilyä sekä mikrobivaurioita seinään ja puisiin rakenteisiin, esimerkiksi jalkalistoihin. Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet pääsevät kulkeutumaan sisäilmaan väliseinän ja alapohjan liittymistä ilmavirtojen mukana.

Epäpuhtauksia pääsee kulkeutumaan sisäilmaan myös ilmavuotojen mukana huokoisen muuratun tiiliseinän saumojen kautta. [1, osa 2 s. 172–174.]

Opinnäytetyöhön liittyvät muuratut väliseinät jatkuvat vain alapohjan eristetilaan asti. Alapohjaan voi muodostua kosteus ja mikrobivaurioita luvussa 2.2.1 mainituin keinoin tai esimerkiksi putkivuotojen takia. Alapohjaan päässyt kosteus voi nousta kapillaarisesti muurattua väliseinää pitkin alapohjan yläpuolelle ja aiheuttaa kosteusvaurioita väliseinään. Ryömintätilasta ja alapohjasta epäpuhtaudet siirtyvät ylöspäin ja sisäilmaan ilmavuotojen mukana huokoista muurattua väliseinää pitkin sekä rakenteiden liittymien kautta. Rakenteen kosteusvaurioita voidaan tutkia aistinvaraisesti ja kosteusmittauksilla, ja mahdolliset ilmavuodot voidaan paikallistaa merkkiainekokein syöttämällä merkkiainekaasua alapohjan eristekerrokseen tai ryömintätilaan.

#### 2.4.2 Kerroksellinen tiiliväliseinä

Kerroksellinen tiiliväliseinä voi vaurioitua perustusten kautta samalla tavalla kuin muutkin muuratut väliseinät. Eristekerrokseen voi päästä kosteutta myös luvussa 2.1.1 mainittujen kattovuotojen kautta. Eristekerros ei pääse kuivumaan rakenteessa kunnolla ja kosteus voi aiheuttaa mikrobikasvustoa. Kerroksellisten väliseinien vaurioituneista eristekerroksista voi ilmavuotojen mukana kulkeutua epäpuhtauksia sisäilmaan rakenteiden liittymien ja läpivientien kautta. Tiili ja etenkin muurauksen saumat ovat huokoisia, joten epäpuhtauksia voi kulkeutua myös ilmavuotojen mukana niiden läpi. Kerroksellisen väliseinän ilmatiiveyttä voidaan tutkia esimerkiksi merkkiainekokein ilmavuotojen selvittämiseksi, ja rakenteen eristekerroksen kunto voidaan tutkia rakenneavauksin. Mahdollisia kosteusvaurioita voidaan tutkia aistinvaraisesti ja kosteusmittauksilla. [1, osa 2 s. 172–173.]

Kohteessa on rakennetyyppi VS2, joka on tiili-villa-tiili rakenteinen. Rakennepiirustusten perusteella kohteeseen liittyvä kerroksellisen väliseinän toinen tiilimuuraus ja eristekerros jatkuvat alapohjan eristetilaan. Tämän rakenteen kautta kosteusvauriot voivat nousta rakennetta pitkin ylös kuten luvussa 2.4.1. on kerrottu. Epäpuhtauksia voi päästä ryömintätilasta ja alapohjan eristekerroksesta sisäilmaan samalla tavalla kuin muissa muuratuissa väliseinissä. Kerroksellisen väliseinän eristekerroksessa alapohjasta tulevat epäpuhtaudet voivat levitä pitemmälle kuin yksikerroksisessa tiiliväliseinässä. Rakenteen ilmavuodot selvitetään tiiveyskokein epäpuhtauksien kulkeutumisen selvittämiseksi.



### 2.4.3 Liikuntasauman eristekerros

Liikuntasauman eriste voi vaurioitua luvussa 2.1.1 mainittujen katon vesivuotojen tai kapillaarisesti perustusten kautta. Vesikaton vuodot voivat johtua liikuntasauman tiivistysten puutteellisuudesta ja vanhentumisesta tai perustusten kautta kosteus voi nousta kapillaarisesti väliseinää pitkin kohdassa 2.4.2 esitetyllä tavalla. Jos rakenteeseen pääsee kosteutta, se ei pääse kuivumaan kahden betonikerroksen välissä ja jatkuva kosteus lisää mikrobivaurioiden riskiä. Epäpuhtaudet pääsevät kulkeutumaan ilmapuotojen mukana sisäilmaan irrotuskaistan peitelistan takaa. Liikuntasaumoja pitkin epäpuhtaudet pääsevät myös mahdollisesti kulkemaan kaikkiin kerroksiin, koska tyypillisesti liikuntasauma jatkuu yhtenäisenä kaikkien kerrosten läpi. Rakenteen kuntoa ja riskiä sisäongelmien kannalta voidaan tutkia rakenneavauksin, materiaalinäyttein ja tiiveyskokein.

Tässä kohteessa liikuntasauman eriste on kahden betonikerroksen välissä. Rakenne sijaitsee väestönsuojassa, joten rakenteita ei haluta rikkoa rakenneavauksilla tai muilla porauksilla. Eristeestä pyritään ottamaan materiaalinäyte irrotuskaistan peitelistan takaa mahdollisten kosteus- ja mikrobivaurioiden selvittämiseksi.

### 2.4.4 Kerroksellinen välipohja

Välipohjien kosteusvauriot johtuvat yleensä rakennusaikaisesta kosteudesta, vesivahingoista tai ulkoseinien kautta tulevasta kosteusrasituksesta. Kerroksellisissa välipohjarakenteissa kosteusvaurio voi aiheuttaa mikrobikasvustoa välipohjan eristeessä tai muussa orgaanisessa materiaalissa. Sisäilmaan epäpuhtaudet voivat päästä rakenteen läpivienneistä tai pinta-laatan halkeamista ilmapuotojen mukana. Rakenteen kuntoa tutkitaan rakenneavauksin ja materiaalinäyttein. [5, kappale 5, s. 54.]

Kohteessa olevan välipohjan VP3 rakenne on seuraavanlainen ylhäältä alas luettuna:

- muovimatto
- TB-laatta
- sitkeä suojapaperi
- mineraalivilla
- ontelolaatta
- pintakäsittely.

Kohteessa rakennetta tutkitaan avaamalla välipohjaa yläkautta kantavaan ontelolaatan asti eristekerroksen kunnan tutkimiseksi. Rakenneavaus sijoitetaan mahdollisimman lähelle ulkoseinää, jotta samalla saadaan selville onko ulkoseinän kautta tullut kosteusrasitusta rakenteeseen.

## 2.5 Tuulikaappi

Kohteen tuulikaapissa on todettu aiemmin hajuhaittoja, joten sen rakenteita tutkitaan vaurioiden ja hajulähteen selvittämiseksi. Tuulikaapin kohdalta ei löytynyt kunnolla rakennepiirustuksia, joten tuulikaapin alapohja- ja seinärakenteet selvitetään rakenneavauksin. Tuulikaapin osalta välipohjaa avataan alakautta (puretaan alas laskettua kattoa) liittyvien rakenteiden toteutustavan selvittämiseksi ja rakenteiden kunnan arvioimiseksi. Välipohjien rakenneavaukset sijoitetaan lähelle ulkoseinää, jotta saadaan selville onko niiden kautta välipohjiin tullut kosteusrasitusta. Samalla tutkitaan rakenteiden liittymät.

## 3 Rakennetekniset ja sisäilmaolosuhteiden tutkimukset

Rakenneteknisissä ja sisäilmaolosuhteiden tutkimuksissa on tarkoitus selvittää rakennuksen kunto sekä kosteus- ja sisäilmaongelmien vaurioiden laajuus ja vaurioiden syyt. Rakennuksen sisäilmasto on lämpöolosuhteista ja ilmanlaadusta muodostuva kokonaisuus. Ilman laatuun vaikuttaa ilmanvaihto ja epäpuhtauslähteet. Ilmanvaihdon parantamisella voidaan parantaa sisäilman laatua, muttei poistaa itse ongelmaa.

Usein sisäilmasto-ongelmia aiheuttavia syitä on useita, ja selvityksessä tulee huomioida rakennuksen toiminta rakenne- ja ilmanvaihdotekniikan kannalta kokonaisuutena [8, s.42].

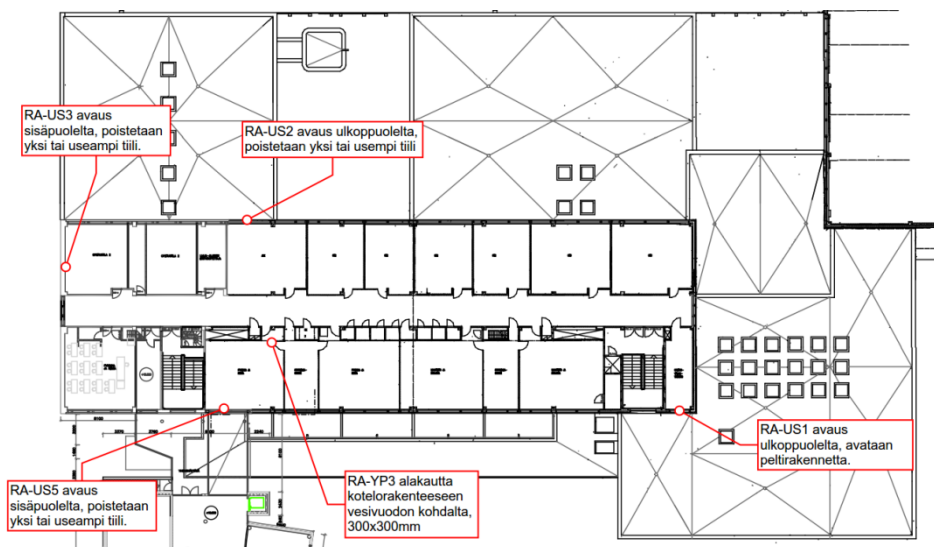
Kohteen tutkimukset aloitetaan lähtötietojen keräämisellä tutkimussuunnitelmaa varten. Tutkimussuunnitelma tehdään tarpeeksi kattavaksi, jotta tutkimuksista saadaan tarpeeksi tietoa vaurioiden arviointiin ja korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi. Tutkimukset tehdään kohteen vaatimalla tarkkuudella, jonka jälkeen tuloksista tehdään johtopäätelmät vaurioista ja niiden aiheuttajista. Johtopäätösten ja vanhojen rakenteiden perusteella valitaan muutama soveltuva korjausvaihtoehto. Tulokset raportoidaan kirjallisesti yleensä tilaajan kanssa sovitulla tavalla. Kaikkia ilmanlaatua heikentäviä tekijöitä ja niiden laajuutta ei aina pystytä arvioimaan oikein, vaikka vauriot pyritäänkin kartoittamaan kattavasti. Korjaushankkeissa joudutaankin usein tekemään lisätutkimuksia purku-urakan aikana korjaustavan tarkentamiseksi. [1, osa 1; 5, kappale 2 s. 1-8; 8, s. 41-44.]

### 3.1 Tutkimussuunnitelma

Tutkimussuunnitelman teko aloitetaan tutkimalla vanhoja rakennepiirustuksia mahdollisten riskirakenteiden selvittämiseksi sekä tutustumalla kohteesta tehtyihin aiempiin selvityksiin. Kohteen rakennusaikakauden perusteella voi päätellä lisää mahdollisista riskirakenteista. Tutkimussuunnitelma vaiheessa kohteeseen tehdään alkukatselmus, jossa pintapuolisesti arvioidaan aistinvaraisesti rakennuksen kunto ja vauriot. Luvussa 3.2.1 Aistinvaraiset tutkimukset on käsitelty aistinvaraisten tutkimusten menetelmiä tarkemmin. Lisäksi voidaan tehdä käyttäjäkysely, joka sisältää henkilökunnan kyselyn havaituista vaurioista ja henkilökunnan oirekyselyn. Kerättyjen taustatietojen avulla luodaan kuva rakennuksesta ja sen kunnosta, jonka perusteella tutkimussuunnitelma tehdään.

Tutkimussuunnitelmassa määritellään tutkimusten laajuus, suunnitellaan tehtävien tutkimusten määrä ja laatu sekä tutkimusten aikataulu. Rakenneavausten määrä ja sijainnit suunnitellaan riskirakenteiden sekä aiempien tutkimusten perusteella. Rakenneavaukset ja niiden sijainnit voidaan esittää kuvan 2 tapaisessa paikannuskaaviossa. Kosteustekniset tutkimukset aloitetaan pintakosteuskartoituksella ja sen perusteella tehdään tarvittava määrä viilto- ja porareikämittauksia. Huolellinen tutkimussuunnitelman laatiminen säästää yleensä kuluja kenttätutkimusvaiheessa, koska kohdentamalla tutkimukset todennäköisiin riskirakenteisiin vältetään turhilta tutkimuksilta. Liitteessä 2 on

opinnäytetyöhön liittyvän tutkimuskohteen tutkimussuunnitelma, joka jää yrityksen käyttöön. [1, osa 1; 5, kappale 2 s. 1-8; 8, s. 41–44.]



Kuva 2. Esimerkki rakenneavausten paikannuskaaviosta

Tutkimussuunnitelmavaiheessa Provepadista on paljon apua. Ennen kohdekäyntiä Provepadiin voidaan luoda uusi tutkimus. Tarkistuslistaa voi joiltain osin täyttää toimistolla etukäteen, mikä nopeuttaa kentällä työskentelyä. Vanhoista piirustuksista voidaan hyödyntää pohjakuvia ja mahdollisista vanhoista tutkimuksista voidaan kirjata havaintoja tekstiosuuksiin.

Tutkimussuunnitelman kohdekäynnillä Provepadilla saadaan tarkistuslistojen avulla kirjattua havainnot ja mahdolliset toimenpide-ehdotukset ohjeineen. Toimenpide-ehdotuksilla voidaan tutkimussuunnitelmaan kirjata tehtävät tutkimukset. Kuvien avulla suunniteltuja tutkimuksia voidaan tarkentaa, ilmaisemalla esimerkiksi rakenneavauksen tarkka paikka. Valokuvilla saa havaintoihin tarkennusta ja ne havainnollistavat vaurioita paremmin. Hyvin tehdyn tutkimussuunnitelman avulla tutkimukset etenevät jouhevasti, ja tutkimukset suorittava työntekijä ymmärtää helpommin mitä tutkitaan ja miksi.

### 3.2 Kenttätutkimukset

Tutkimusten tavoitteena on selvittää ongelmien ja vaurioiden aiheuttajat, sekä tarvittavien korjausten lähtötiedot. Kenttätutkimukset tehdään tutkimussuunnitelman mukaisesti, mutta on kuitenkin varsin yleistä, että tutkimuksia tehdessä alkuperäisestä tutki-

mussuunnitelmasta joudutaan poikkeamaan. [1; osa 1, s. 18.] Tässä opinnäytetyössä on jätetty käsittelemättä haitta-ainetutkimukset, koska opinnäytetyöhön liittyvässä kohteessa haitta-aineet oli jo kartoitettu.

Provepadissa on tarkistuslistassa erilaisia taulukoita ja lisäkysymyksiä kenttätutkimuksia varten. Kenttätutkimuksia varten olevat lisäkysymykset tulevat näkyviin vain jos ne täyttää, joten ne eivät haittaa tutkimussuunnitelmavaihetta. Kenttätutkimusten tarkistuslistan avulla on helpompi seurata kuka tutkija tekee mitäkin tutkimuksen vaihetta ja milloinkin. Kenttätutkimuksissa kirjatut muistiinpanot tulevat suoraan valmiiseen raportti pohjaan, jota sen jälkeen voidaan muokata ja täydentää puuttuvilta osin MS Word -ohjelmalla.

### 3.2.1 Aistinvaraiset tutkimukset

Vesikaton aistinvaraisissa tutkimuksissa arvioidaan katon kaltevuuksien toimivuutta. Läpivientien liitosten ja saumojen kunto arvioidaan. Katsotaan näkykö saumoissa tai liitoksissa halkeamia tai repsottaako esimerkiksi kermin reuna. Kattokaivojen läheisyyden kallistukset arvioidaan ja tarkastetaan ovatko kattokaivot tukkeutuneet roskasta ja että, onko niissä asiallinen suojakuppu tai -ritilä. Kermikatteen ikää ja kunto arvioidaan. Tutkitaan näkykö kermissä mekaanista kulumaa. Arvioidaan onko itse kermi haurastuneen näköinen, eli näkykö siinä valumia tai halkeamia. Tarkastetaan näkykö kermissä kupruja, jotka ovat voineet aiheutua sisäilmasta tulleen kosteuden takia, tai huonosti onnistuneen kattoremontin takia. Katsotaan onko kermi sirotepäällysteistä jolloin se ei tarvitse singeliä vai onko kermi sileää jolloin se tarvitsisi suojakseen singeliä. Tarkastetaan onko kattokaivojen tiellä tai sadevesi kouruissa paljon roskaa. Huomiota kiinnitetään myös suojapellitysten puutteisiin, esimerkiksi puuttuuko myrskypeltti, onko pellitysten kiinnitykset ja limitykset vaurioituneet tai onko pellityksen ylösnostot riittämättömiä. Kuvassa 3 on erilaisia kermikatteen vaurioita. [2, s. 43; 3, s. 379; 5, kappale 3, s 7-8; 5, kappale 7, s 31–34.]



Kuva 3. Kermikatteen vaurioita, vasemmalta oikealle, ylhäältä alas: Vaurio mekaanisesta kulumuksesta. Ikääntymisen aiheuttama vaurio. Kupruilevaa kermikatetta. Repsottava sauma.

Ryömintätiloja tarkastaessa tulee kiinnittää huomiota ryömintätilan pohjarakenteeseen. Tarkastetaan onko ryömintätilan pohjassa kapillaarinen katko eli esimerkiksi karkeaa sepeliä. Tarkastetaan löytyykö ryömintätilasta orgaanista ainetta esimerkiksi puuta, näkyykö pinnoilla tai muussa tavarassa mikrobikasvustoa sekä näkyykö lammikoitunutta vettä. Katsotaan onko betonin alapintaan tiivistynyt kosteutta. Ryömintätilan hajuun kiinnitetään huomiota. Ryömintätilan tuuletusaukkojen tai -putkien määrän riittävyys arvioidaan. Ryömintätilojen tuuletuksen toimivuutta arvioidaan tutkimalla onko tuuletusputkien tai aukkojen läheisyydessä havaittavissa ilmavirtausta. Lisäksi ryömintätilan kosteuspitoisuutta ja lämpötilaa voidaan mitata. Kuvassa 4 on esimerkkejä ryömintätilasta tehtävistä havainnoista. [2, s. 43; 3, s. 379; 5, kappalle 3, s. 5; 15, s. 183–185.]



Kuva 4. Ryömintätilan aistinvaraiset huomiot, vasemmalta oikealle, ylhäältä alas. Vettä vuotaa alapohjan läpivienneistä. Tukkeutunut korvausilmaputki. Kosteutta (tummuneet alueet) kevytsorapavuissa. Tiivistynyttä kosteutta alapohjan eristeen alapinnassa.

Rakennuksen ulkopuolisessa tarkastuksessa kiinnitetään huomiota ulkoseinän mahdollisiin vaurioihin, esimerkiksi kuvassa 5 on kosteusrasituksen aiheuttamaa suolan keriytymistä. Huomiota kannattaa erityisesti kiinnittää elementtien saumoihin, liikuntasaumoihin, tai muurausten liikunta- ja työsaumoihin. Ikkunoista katsotaan pintakäsittelyn kunto, eli etsitään esimerkiksi hilseilyttä maalia. Ikkunoiden pellityksistä tarkistetaan että ne ovat tarpeeksi kaltevat ja ettei niissä ole reikiä tai muita rakoja. Ikkunapellitysten kiinnitys tarkistetaan. [2, s. 43; 3, s. 379; 5, kappale 3, s. 6.]





Kuva 5. Kertynyttä suolaa ulkoseinän pinnalla.

Rakennuksen piha-alueen tarkastuksessa kiinnitetään huomiota maapinnan kallistuksiin, eli tarkistetaan ovatko kallistuksen oikean suuntaiset ja riittävän jyrkät. Rakennuksen vierustan suositeltava kaltevuus rakennuksesta poispäin on 1:20 kolmen metrin matkalla rakennuksesta. Rakennuksen ulkoseinien vierellä olevan kasvistoon kiinnitetään huomiota, eli ovatko kasvit tai istutukset liian lähellä seiniä. Kuvassa 6 istutukset ovat liian lähellä seiniä ja kallistukset ovat rakennusta kohti. Rakennuksen sokkelissa on näkyvissä kosteusvaurioita, tummumia.



Kuva 6. Istutukset ovat liian lähellä ulkoseiniä ja sokkelissa on näkyvissä kosteusvaurioita.



Sisätilojen tarkastuksessa pinnoista ja rakenteista etsitään vesivaurioiden jälkiä, erilaisia tummumisia, pinnoitteiden kupruilua tai hilseilyä. Kuvassa 7 on esimerkki kosteusvauriosta. Pesuhuoneiden poistoilmaventtiilin sijainti tarkistetaan. Suihkunurkkaus ei tuuletu riittävästi jos poistoilmaventtiili on liian lähellä oviaukkoa, mikä lisää homevaurioiden riskiä. [5, kappale 7, s. 10–11.]



Kuva 7. Vesivaurion jälkiä kattovuodosta

Erityisesti aistinvaraisissa tutkimuksissa Provepadista on paljon hyötyä. Provepadin tarkistuslistoihin on listattu valmiita edellä mainitun kaltaisia havaintoja. Valmiiksi kirjattut vaihtoehdot havainnoista voi klikata nopeasti Provepadilla, jolloin ne tulevat suoraan raporttiin oikeaan rakennekohtaan. Tarkistuslistan avulla tulee myös tarkistettua, että mitään rakenneosaa ei jätä huomioimatta. Kohteessa tehtyjen aistinvaraisten tutkimusten avulla tarkistuslistaan saatiin kirjattua valmiita havaintovaihtoehtoja rakenneosittain.

### 3.2.2 Rakenneavaukset

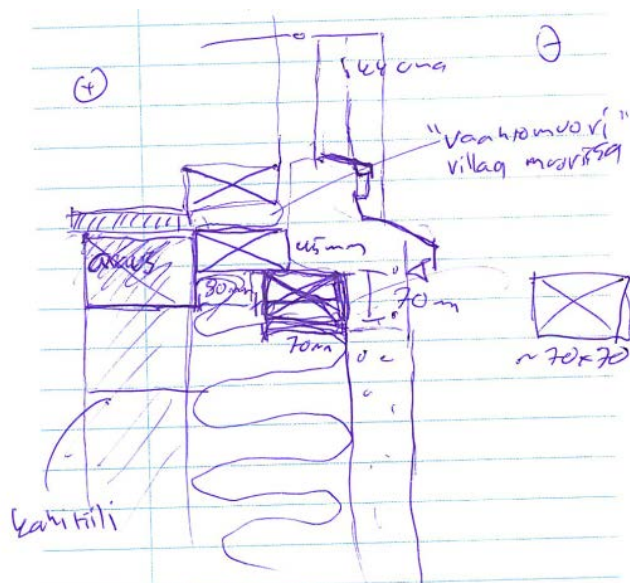
Rakenneavauksissa selvitetään vastaavatko rakenteet olemassa olevia rakennesuunnitelmia ja tarkastetaan rakenteiden kunto. Niiden rakenteiden, joista ei ole olemassa vanhoja suunnitelmia rakenteet selvitetään rakenneavauksin. Rakennekerroksista tunnistetaan materiaalit ja ne kirjataan mittoineen ylös. Rakennemateriaalit tunnistetaan materiaalin ulkonäön, käyttötarkoitukseen ja rakennusaikakauden perusteella. Ympäristöministeriön julkaiseman oppaan mukaan materiaalien tunnistamiseen hyödynnetään kuntotutkijan ja kollegoiden kokemusta sekä lähdeteoksia. Ympäristöopas 2016:ssa on liite materiaalien tunnistamisesta. Rakenneavauksista tutkitaan aistinvaraisesti kosteus, poikkeavat hajut ja onko avauksesta ilmavirtausta sisätilaan rakenne-

fysikaalisen toimivuuden arvioimiseksi. Avauksessa näkyvät vauriot ja niiden laajuus kirjataan ylös. Rakenteista dokumentoidaan materiaalikerrokset sekä niiden paksuudet ja valokuvataan huolella korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi. Kuvassa 8 on rakenneavaus ja kuvissa 9-11 on esitelty rakenneavausten dokumentointi tapoja. Kuvassa 11 on esimerkki rakenneavausten perusteella tehdystä rakennepiirustuksesta. Rakennepiirustuksia ei kuitenkaan tehdä aina. Rakenneavausten yhteydessä rakenteista otetaan materiaalinäytteitä mikrobiologisia analyysejä sekä haitta-aineanalyysejä varten. Avauksista voidaan ottaa tarpeen mukaan näytteitä myös kosteusteknisiä tutkimuksia varten. Materiaalien ominaisuuksia kuten ilmanläpäisevyys, lämmönjohtavuus, vesihöyrynvastus ja kapillaarisuus mitataan laboratorio testeissä yleensä vain erikoistapauksissa. [1, osa 1, s. 18–23; 5, kappale 3,

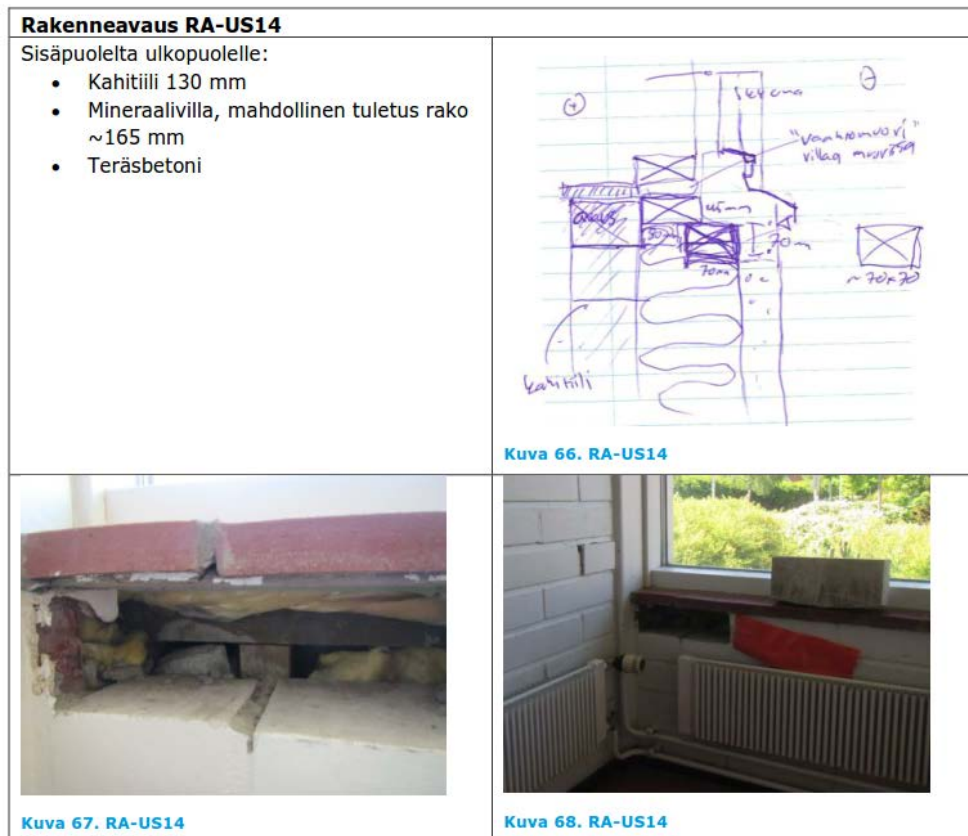
s. 45–47.]



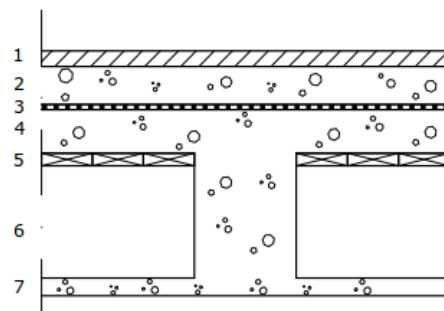
Kuva 8. Rakenneavaus on tehty ulkoseinään sisäpuolelta poistamalla muurauksesta yksi tiili.



Kuva 9. Esimerkki käsin piirretystä kuvan 8 rakenneavauksesta.



Kuva 10. Esimerkki rakenneavausten dokumentoinnista tutkimusraporttia varten



Kerrokset ylhäältä alaspäin:

~30 mm	1 Asfalti
~75 mm	2 Betoni
~10 mm	3 Bitumi
~85 mm	4 Betoni
25 mm	5 Muottilaudat, puu
~220 mm	6 Tyhjä
~50 mm	7 Betoni

Kuva 11. Esimerkki rakenneavauksen perusteella tehdystä rakennetyypistä. Kuva ei liity opinnäytetyön tutkimuskohteeseen.

Rakenneavauksia varten Provepadissa pystyy taulukoimaan eri rakennekerrokset paksuuksineen. Useimpien rakenneavauksien tarkistamiseen isolla tabletilla käytettävä Provepad ei yksinään sovi. Usein rakenneavaukset pyritään tekemään mahdollisimman pieniksi korjausten helpottamiseksi, eikä iso tabletti mahdu avauksien sisään kuvien ottamiseksi. Rakenneavausten materiaalikerrokset saadaan Provepadilla dokumentoitua taulukkoon joka tehtiin rakenneavauksia varten.

### *Materiaalinäytteiden ottaminen*

Materiaalinäyte mikrobianalyysiä varten otetaan silloin, kun mikrobikasvustoa epäillään löytyvän huokoisesta tai helposti irtoavasta ja hienonnettavasta materiaalissa, esimerkiksi mineraalivillasta tai kipsilevyn pinnasta. Näytteenottokohdat valitaan vaurioituneen alueen perusteella niin, että ne edustavat mahdollisimman hyvin vaurioalueita. Materiaalinäyte otetaan jokaisesta eri materiaalista, joissa epäillään olevan mikrobikasvustoa. [5, kappale 3, s. 13–19; 15, s. 48–50.]

Materiaalinäytettä on otettava riittävästi, yleensä noin 10cmx10cm kokoiselta alueelta tai noin 1 desilitra. Mikrobit kasvat usein materiaalien pinnoilla, joten näytettä otetaan 0,1-0,5 millimetrin syvyydeltä vaurioitumisriskin puolelta. Esimerkiksi mineraalivillasta näyte otetaan villan sisäpuolen pinnasta ja kipsilevystä otetaan pahvia tai pala levyä. Näytteitä ottaessa tulee käyttää henkilökohtaisia suojaimia, esimerkiksi hengityssuojaimia ja kumihanskoja. Mikrobiologista analyysiä varten otetut materiaalinäytteet tulee ottaa aina steriileillä työkaluilla ja kumihanskoilla, jotta käsien bakteerit eivät tartu materiaalinäytteeseen ja siten peitä mahdollisia mikrobivaurioita. Useita näytteitä ottaessa työkalut ja käsiineet tulee puhdistaa näytteiden oton välissä. Näytteet laitetaan suoraan ilma- ja vesitiiviiseen pussiin. Kuvassa 12 on materiaalinäytteenottovälineet. Materiaalinäytteille annetaan tunnus ja niiden näytteenottopaikka, sisältämä materiaali ja näytteenottopäivä kirjataan ylös. Materiaalinäytteet tulee lähettää laboratorioon analysoitavaksi mahdollisimman tuoreena, yleensä 24 tunnin kuluessa. [5, kappale 3, s. 13–19; 15, s. 48–50.] Materiaalinäytteiden tulkinta on selitetty luvussa 3.2.4. Sisäilmaolosuhteiden tutkimukset.



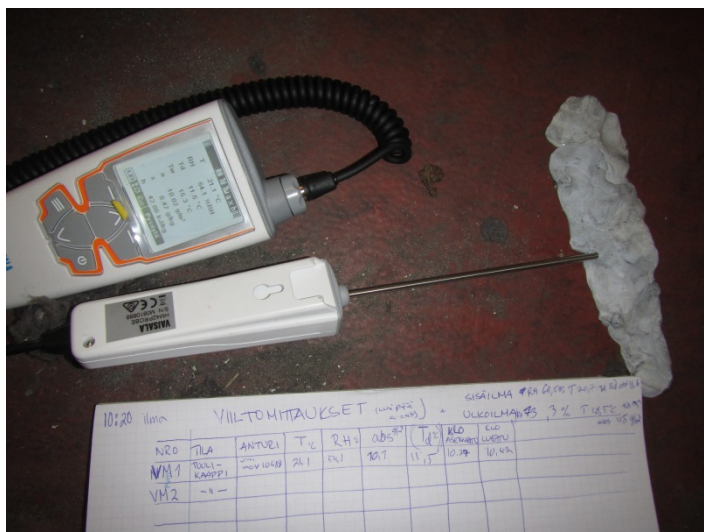
Kuva 12. Materiaalinäytteen ottaminen. Hanskat laitetaan käsiin. Käsineet ja käytettävät työvälineet desinfioidaan suihkepullossa olevalla desinfiointi aineella.

### 3.2.3 Kosteusmittaukset

Kosteusmittaukset aloitetaan pintakosteuskartoituksella, joka tehdään usein pintakosteusmittauksella ja aistinvaraisesti rakenteita avaamatta. Pintakosteusmittari ei ilmoita suhteellista kosteutta vaan sillä voi tutkia saman rakenteen kosteusvaihteluja. Lähtöselvitysten perusteella tiedossa oleviin riskirakenteisiin kannattaa tehdä kartoitus tarkemmin. Yleisempiä riskirakenteita ovat maanvastaiset alapohjat ja seinät. Välipohjarakenteet ovat myös riskirakenteita jos niissä on tiivis lattianpäällyste. Välipohjat ovat voineet kostua joko putkivuotojen seurauksena, rakennusaikaisesta kosteudesta tai ulkoseinien kautta tulleesta kosteusrasituksesta. Kosteusvauriokartoituksen havaintojen perusteella tehdään tarkempia kosteusteknisiä tutkimuksia tarvittaviin osiin. [5, kappale 3, s. 19–26; 10.]

Viiltomittauksella saadaan mitattua joustavan päällysteen alapuolinen kosteuspitoisuus. Päällysteeseen, esimerkiksi muovimattoon tehdään viilto ja mittapää asennetaan tiiviisti sen alle vähintään 15 minuutiksi. Mittapään varren ja päällysteen rajakohta tulee tiivistää huolellisesti. Kuvassa 13 on esitetty viiltomittausjärjestely. [5, kappale 3, s. 22–23; 10.]





Kuva 13. Viiltomittaus järjestelyt. Mittapään alapuolella on taulukko mittaustulosten ja olosuhteiden ylöskirjaamista varten.

Porareikämittaukset ovat tarkimmillaan  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n ja  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n välillä ja olosuhteiden on oltava riittävän lähellä normaalia käyttölämpötilaa, yleensä  $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rakenteessa olevan mittapään ja yläpuolisen ilman lämpötilaero ei saa olla yli  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ta ja olosuhteiden tulee olla riittävän vakaat mittauspisteen ympärillä reiän porauksesta mittauksen loppuun asti. Muissa olosuhteissa on suositeltavaa käytettävän näytepalamenetelmällä. [5, kappale 3, s. 19–26; 10.]

Porareikä tehdään yleensä halkaisijaltaan 16 millimetrin levyisenä ja vähintään 10 millimetrin syvyyteen. Porareikä tulee puhdistaa huolella tarkan mittauksen varmistamiseksi. Mittausputkena käytetään sivuiltaan umpinaista putkea, esimerkiksi muovista sähköputkea. Putki asennetaan reiän pohjaan asti ja puhdistetaan uudestaan. Putken ja reiän välinen liitos sekä pää tiivistetään huolella ja reiän annetaan tasaantua kolme vuorokautta. Tasaantumisan jälkeen mittapää asennetaan tiiviisti putkeen ja annetaan tasaantua mittapäästä riippuvan ajan verran, yleensä kuitenkin vähintään tunnin ajan. Tämän jälkeen kosteus voidaan mitata. Mittausolosuhteiden dokumentointi on tärkeää mittaustarkkuuden arviointia varten, mittauksesta kirjataan huoneen ja mittapään lämpötilat sekä suhteelliset kosteudet. Kuvassa 14 on esitetty porareian suojaus. Kuvaan on merkitty porareikien eri syvyydet. [5, kappale 3, s. 19–26; 10.]



Kuva 14. Porareikämittaus. Poratut reiät on suojattu tasaantumista varten.

Näytepalamittauksessa betoniin tehdään kuivamenetelmällä halkaisijaltaan 50 - 100 millimetriä leveä kuoppa esimerkiksi poraamalla kuivaporauskuunulla. Kuopan syvyys on noin 5 millimetriä näytteenottosyvyyttä ylempänä. Näytepaloja hakataan pohjasta irti esimerkiksi lyöntitalalla ja ne otetaan vähintään 5 millimetrin päästä kuopan poratusta reunasta. Otettuja näytepaloja voi käsitellä käsin ja ne laitetaan koeputkeen. Näyte-kappaleiden tulee täyttää koeputkesta kolmasosa eikä seassa saa olla porauspölyä, runkoainetta tai muuta roskaa. Heti näytepalojen laittamisen jälkeen koeputkeen laitetaan suhteellisen kosteuden mittarin mittapää ja koeputken pää tiivistetään huolella. Tuloksen tarkkuuden parantamiseksi näytepaloja voidaan ottaa kaksi koeputkellista, jotka mitataan eri antureilla. Vakiolämpötilassa koeputken annetaan tasaantua mittapäästä riippuvan ajan verran, yleensä 5...12 tunnin ajan. Normaalissa lujemmassa betonissa suhteellisen kosteuden tasaantuminen vie enemmän aikaa. Näytepalamittauksista dokumentoidaan samat tiedot kuin poranreikämittauksessa. [5, kappale 3, s. 19–26; 10.]

Näytepalamittauksella saadaan tarkempia tuloksia kuin porareikämittauksella, koska näytepalamittauksessa rakenteen epänormaali lämpötila, rakenteen ja yläpuolisen välinen lämpötilaero eikä porauksen jälkeinen odotusaika vaikuta näytepalamittauksen tuloksiin. Näytepalamittaus on myös nopeampi toteuttaa lyhyempien suhteellisten kosteuksien tasaantumisaikojen takia. Näistä syistä saatetaan käyttää näytepalamittauksia

vaikka porareikämittaus olisikin mahdollinen toteuttaa. Porareikämittaus valitaan, jos halutaan jättää pienempi jälki mitattavaan rakenteeseen. [10.]

Pintakosteuskartoitusta varten tabletilla on tarpeen pystyä muokkaamaan pohjakuvaa. Tällä hetkellä tämä onnistuu ainakin pdf-työkalulla, jolla pdf-muodossa olevaan pohjakuvaan pystyy lisäämään pintakosteuslukemat. Viilto- ja porareikämittauksia varten Provepadiin on tehty valmiit taulukot mittaustulosten ylöskirjoittamista varten.

### 3.2.4 Sisäilmaolosuhteiden tutkimukset

Sisäilman laatuun vaikuttavat epäpuhtauslähteet tulee ensisijaisesti selvittää rakennus- tai taloteknisillä tutkimuksilla. Sisäilman laatuun vaikuttaa monta asiaa ja siksi sisäilmaolosuhteiden tutkimukset tulee tehdä kattavasti sekä miettiä rakenteita ja ilmanvaihtoa kokonaisuutena. Mikrobivaurioiden laajuus arvioidaan rakenneavauksilla, rakennekosteusmittauksilla ja materiaalinäytteiden mikrobiologisilla analyyseillä. Vaurioiden laajuuden arviointi perustuu lähtötietoihin rakennetyypeistä ja rakenteen rakennefysikaalisesta toiminnasta. Mikrobivaurioiden vaikutus sisäilman laatuun riippuu rakenteen ilmatiiveydestä sekä mahdollisista ilmavuotoreiteistä. Suuri alipaineisuus lisää ilmavuotoriskejä. [7, osa 4, s 4-5; 8, s. 41–43.]

#### *Materiaalinäytteet*

Rakenneavauksista ja tarpeen tullen muualta otettuja materiaalinäytteitä lähetään laboratorioon mikrobiologista analyysiä varten. Näytteidenottomenettelmä on selostettu luvussa 3.2.2 Rakenneavaukset. Laboratorioanalyysi vastauksia tulkitaan mikrobien määrän ja lajiston perusteella asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisesti. Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain laimennossarja menetelmää, ei suoraviljelymenetelmää. Tutkimuskohde on koulurakennus, joten näytteiden tulkinnassa sovelletaan asumisterveysasetuksen soveltamisohjetta oppilaiden osalta ja työterveyslakia henkilökunnan osalta.

Mikrobianalyyysien tulosten tulkintaan vaikuttaa näytteen mikrobien pitoisuudet ja näytteessä olevat lajistot. Näytteessä voidaan tulkita olevan mikrobikasvustoa jos home- ja hiivasienten pitoisuus  $> 10\,000$  pmy/g tai aktinomykeettien pitoisuus  $> 3\,000$  pmy/g. Kosteusvaurioindikaattorien merkitys arvioidaan, vaikka sädesienien (aktinomykeettien) määrät jäisivät alle  $3000$  pmy/g. Jos sienipitoisuudet ovat välillä  $5\,000$  pmy/g –  $10\,000$



pmy/g voi löydöt viitata mikrobikasvustoon jos näytteissä on kosteusvaurioindikaattoreita tai lajisto on yksipuoleinen, yksi tai kaksi lajia. Näytteessä voidaan katsoa olevan bakteerikasvustoa jos bakteeripitoisuus ylittää arvon 100 000 pmy/g. Kosteusvaurioindikaattorimikrobeja esiintyy vaurioituneissa rakenteissa eikä juurikaan vaurioitumattomissa rakenteissa ja osa niistä vaatii suuria kosteuksia. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa osassa 4 on taulukko tärkeimmistä home- ja kosteusvaurioindikaattoreista. [7, osa 4 s. 7-8.]

Materiaalinäytteet, jotka ovat olleet kosketuksissa ulkoilmaan tai maaperään, ei voida suoraan soveltaa yllä esitettyjä ohjearvoja. Rakenteiden sisäisissä eristeissä olevan mikrobikasvuston vaikutus sisäilmaan riippuu todetuista ilmayhteyksistä sisätilaan. Eristetilojen ilmayhteyksiä sisätilaan voidaan tutkia ilmantiiveyskokein, esimerkiksi merkkiainekokeiden avulla. [7, osa 4 s. 7-8.]

#### *Pölynäyte pyyhintämenetelmällä*

Pölynäytteellä saadaan selville tilassa olevan pölyn laatu. Pyyhintämenetelmällä otetuista näytteistä tunnistettavia hiukkasia ovat muun muassa teolliset mineraalikuidut, kiviainespöly, siitepöly, rakennusmateriaali pöly, metallihiukkaset, asbestikuidut ja homeitiöt. Pölynäytteillä voidaan tutkia syitä sisäilmaongelmille.

Näytteenottopaikaksi valitaan taso, johon pöly voi laskeutua vapaasti ja joka on harvoin käytössä. Esimerkiksi tietokoneen näytön takana on hyvä paikka. Näytteenotto kohta ei saa olla ikkunalaudalta. Tutkittava pinta tai taso puhdistetaan kaksi viikkoa ennen näytteen ottoa. Paikka merkitään esimerkiksi teipillä ja lapulla jotta pintaa ei pyyhitä näiden kahden viikon aikana. Kuvassa 15 on merkitty näytteenottopaikka kahden viikon laskeutuman ajaksi. [11.]

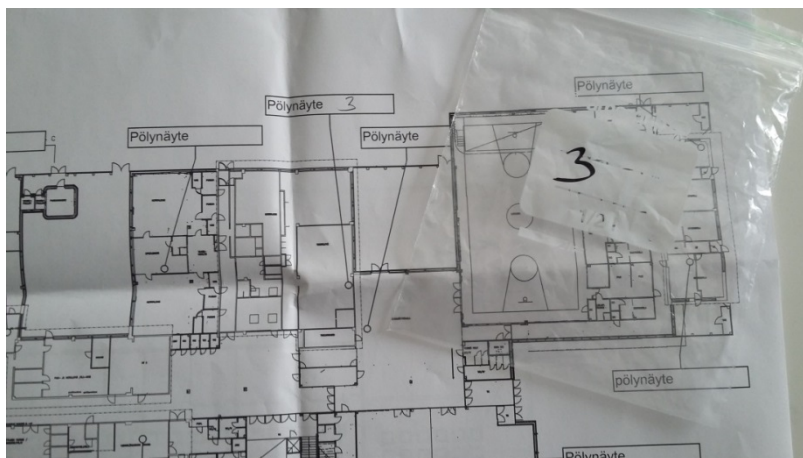


Kuva 15. Pölynäytteenottopaikka tietokoneen ja dataprojektorin takana on merkitty oranssilla teipillä.

Näytteen ottoon käytetään suljettavaa muovipussia, esimerkiksi minigrip-pussia, pussi käännetään nurin ja käsi laitetaan sisään. Pussilla pyyhitään tutkittavan tilan pintoja, jolloin muovisen pussin sähköisyys kerää pölyhiukkaset talteen. On oltava huolellinen, jottei pussiin tule reikiä sen osuessa johonkin terävään. Näyte tulee ottaa huolellisesti, jotta pussilla kerätään vain laskeutuma-alueelta pölyä ja, että kädellä ei vahingossa pyyhi pölyä pois laskeutuma-alueelta. Näytteen keräämisen jälkeen pussi käännetään ympäri ja suljetaan huolella niin, että se on ilma- ja vesitiivis. Pussit numeroidaan ja näytteenottopaikat merkitään ylös. Kuvassa 16–17 on kuva pölynäytteen ottamisesta ja kuva otetuista pyyhintäpölynäytteistä. [11.]



Kuva 16. Pölynäytteen ottaminen. Suljettava pussi käännetään ympäri ja laitetaan käteen. Pyyhitään aiemmin merkittyä aluetta muovipussilla pölyn keräämiseksi. Pussi käännetään takaisin ympäri ja suljetaan ilmatiiviisti.



Kuva 17. Kerätty pyyhintöpölynäyte numeroidaan ja näytteenottoaikka merkitään esimerkiksi pohjakuvaan.

Pölynäytteiden laboratorioanalyysien tuloksia ei saa suoraan Provepadin tarkistuslistaan. Laboratorioanalyysien tulokset täytyy erikseen kirjoittaa Provepadista saatavaan raporttipohjaan. Tabletilla käytettävällä pdf-työkalulla näytteenottoaikat voi merkata pdf -pohjakuvaan.

### *Olosuhdeseuranta*

Olosuhdeseurannassa mitataan tilojen suhteellinen kosteus ja lämpötila, sekä hiilidioksidipitoisuutta. Lisäksi voidaan seurata tilojen rakennuksen vaipan yli vallitsevaa paineeroa. Seurantamittaukset tehdään yleensä noin kahden viikon pituisena pitkäaikaisseurantana. Sisäilmaolosuhteiden mittausten lisäksi mitataan samalta ajalta myös ulkoilman suhteellinen kosteus ja lämpötila. [5, kappale 3, s. 29–30.]

Aiemmin Asumisterveysohjeen 2003 mukaan suositeltu suhteellinen ilmankosteus on ollut 20 – 60 %. Poikkeamat näistä arvoista eivät itsessään aiheuta riskiä sisäilman suhteen. Normaalista kuivempi huoneilma lisää herkistymistä muilla epäpuhtauksille. Korkea suhteellinen ilmankosteus voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteisiin mikä lisää mikrobi ja kosteusvaurioiden riskiä. Korkea suhteellinen ilmankosteus ei yleensä itsessään lisää riskejä. Yleisin viihtyvyyslämpötila on +21 °C. Liian korkea tai alhainen sisäilmanlämpötila lisää viihtyvyshaittoja. [15, s. 61–62.] Asumisterveysasetuksen mukaan oppilaitoksiin sovellettavat toimenpiderajat lämmityskaudella ovat +20–26 °C ja lämmityskauden ulkopuolella +20–32 °C.

Sisäilman hiilidioksidipitoisuudesta voi päätellä ilmanvaihdon riittävyttä. Seurantamittaukset kannattaa tehdä pitkäaikaisseurantamittauksena, jolloin saadaan tietoon tilan hiilidioksidipitoisuuden vaihtelevuudesta. Rakennusmääräyskokoelman osan D2 mukaan hiilidioksidipitoisuuden ohjearvo < 1200 ppm. Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpide raja-arvo on 1150 ppm suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden arvona voidaan käyttää 400 ppm, jos ulkoilman pitoisuutta ei saatu mitattua. Esimerkiksi jos tilan hiilidioksidipitoisuudeksi mitataan 1950 ppm ja ulkoilman pitoisuutena käytetään 400 ppm, on tilan hiilidioksidipitoisuus 1550 ppm suurempi kuin ulkoilman pitoisuus, eli toimenpideraja 1150 ppm ylittyy. Liiallinen hiilidioksidipitoisuus aiheuttaa väsymystä ja päänsärkyä sekä tunkkaisuuden tunnetta. [5, kappale 1, s. 17; 15, s. 61–63.]

Rakennukset suunnitellaan yleensä alipaineiseksi, koska ylipaine voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteisiin ilman virratessa ulospäin. Ilma virtaa aina alipainetta kohti. Paine-eromittaukset on suositeltavaa tehdä yhden tai kahden viikon mittaisena seurantamittauksena ilmanpaine vaihtelun seuraamiseksi. Ilmapaineisiin vaikuttaa rakennuksen ilmastointi, tuuli ja savupiippuilmio. Sisään virtaavan ilman määrä riippuu alipaineen ja epätiiveyskohtien määrästä. Suurempi alipaine ja useammat epätiiveys kohdat lisäävät sisään virtaavan ilman määrää. Sisään virtaavan ilman määrä tulee hallita korvausilma venttiilien ja ovien riittävyydellä, jottei esimerkiksi alapohjan tai tekniikkalaitteiden kautta virtaavan ilman mukana tule epäpuhtauksia. [5, kappale 1, s. 17–18.]

Olosuhdeseurantamittausten mittaustulokset pitää aina purkaa loggereiden omalla purku ohjelmalla, jolloin Provepadista ei ole paljon apua tässä vaiheessa. Olosuhdeseurantamittausten tulokset kuitenkin voidaan kirjoittaa Provepadista saatuun raporttipohjaan, jossa muut tutkimusten osa-alueet ovat jo valmiina.

### *Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu*

Rakenteiden ilmatiiveyttä ja vuotokohtia tutkitaan, jotta voitaisiin arvioida kulkeutuuko esimerkiksi vaurioituneista eristekerroksista tai ryömintätilasta sisäilmaan epäpuhtauksia. Ilmavuodoilla voi olla suurikin vaikutus sisäilman laatuun jos rakenteissa on vaurioita tai mikrobikasvustoa. Rakenteiden ilmatiiveys kertoo myös rakenteen eristävydestä. Ilmavuotojen kautta rakennuksen sisäilman lämpötila voi esimerkiksi talvella viiletä liian alhaiseksi. [12.]

Rakenteiden ilmatiiveyttä voi tarkastella painekokeen avulla. Ilmavuotoluku  $n_{50}$  laske-  
taan jakamalla tutkittavan huoneen sisätilavuus ilman tilavuusvirralla, joka tarvitaan 50  
Pa ali- tai ylipaineen aiheuttamiseksi. Mittaus tehdään asentamalla puhallin oveen ja ali-  
tai ylipaineistamalla tila 50 Pa:iin. Mittausten ajaksi kaikki korvausilmaventtiilit, tulisijat,  
hormit ja liesituulettimet suljetaan tiiviisti muovilla ja teipillä. Yli- ja alipainekokeissa  
ilmavuotokohtia voidaan paikallistaa esimerkiksi merkkisavulla. Merkkiainesavulla ei  
saa tarkasti paikannettua ilmavuotokohtia ja niiden suuruutta. [12.]

Tämän opinnäytetyön kohteeseen on jo tehty aiemmin ilmanpitävyysmittauksia paine-  
kokeen avulla. Mittaus on tehty yksittäisiin tiloihin, jolloin ilmavuoto luku ei kerro suo-  
raan mitatun tilan vaipan ilmanpitävyyttä, sillä korvausilmaa on tullut myös muun mu-  
assa välipohjien- ja seinien ilmavuotokohdista. Merkkiainekokeella tehdyllä mittauksella  
saadaan tarkemmin selvitettyä tutkittavan rakenteen ilmavuotokohdat, sekä ilma-  
vuodon suuruus arvioitua. Näistä syistä kohteeseen valittiin ilmavuotokohtien tarkastelu  
tehtävän merkkiainekokein.

Merkkiainekokein tehtävä ilmatiiveyden tarkastelu on tutkimusmenetelmä, jossa käyte-  
tään erityistä kaasua ja sitä havaitsevaa mittalaitetta ilmavirtausten ja -vuotojen selvit-  
tämiseksi. Merkkiainekokeella saatua tietoa voi käyttää esimerkiksi sisäilmaongelmien  
selvittämiseen. [13.]

Merkkiainekokeen suunnittelussa huomioidaan tutkittavat rakenteet, alipaineistuksen  
toteuttaminen ja kohteen ilmanvaihto. Tutkittavaan tilaan luodaan riittävä paine-ero,  
noin 10 - 15 Pascalia, jotta merkkiainekaasu kulkeutuisi ilmavuotojen mukana. Paine-  
ero mitataan aina tutkittavan rakenteen yli. Merkkiainekaasu syötetään tiiviin rakenne-  
kerroksen ohi kaasua jakavaan kerrokseen, esimerkiksi lämmöneristetilaan tai ryömin-  
tätilaan. Kaasunsyöttöletku tiivistetään huolella tiiviiseen kerrokseen, kuten betonilaat-  
taan. Kuvassa 18 on esitetty merkkiainekoe järjestelyt. Ulkopuolelta syötettäessä kaa-  
su tulee saada jakavaan kerrokseen riittävän lähelle tiivistä kerrosta. Suurissa tiloissa  
kaasua voidaan syöttää esimerkiksi suoraan ryömintätilaan. [13.]



Kuva 18. Merkkiainekoejärjestelyt. Vasemmalla ovipuhallin on asennettu tutkittavan tilan oveen alipaineistusta varten. Oikeassa kuvassa merkkiainekaasua syötetään alapohjan eriste-kerrokseen.

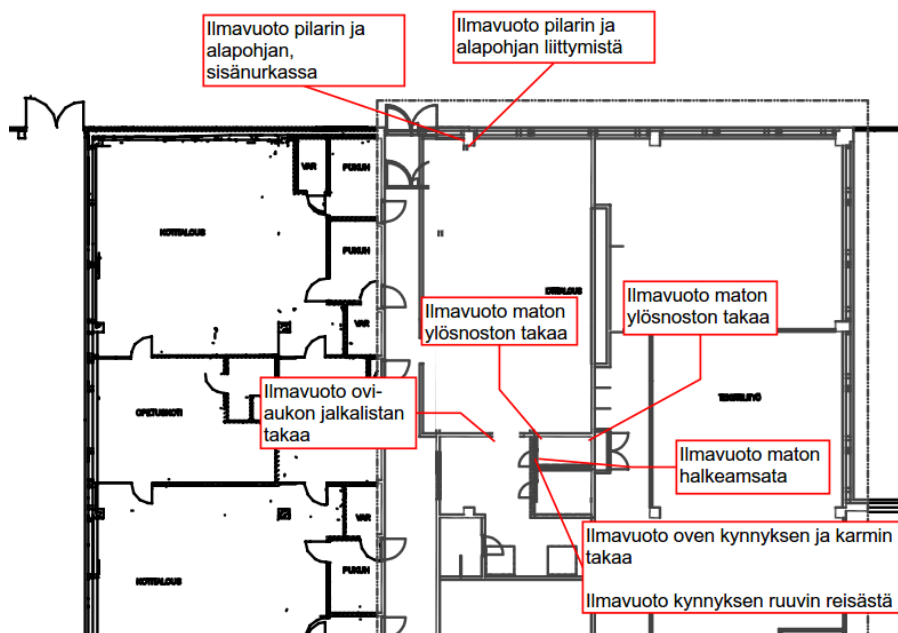
Merkkiainekaasu leviää konvektiolla ja diffuusiolla. Mitä isompi paine-ero rakennekerroksen yli on, sitä enemmän merkkiainekaasua virtaa isommista ilmavuotokohdista. Tämän takia jotkin pienemmän ilmavuotokohdat havaitaan usein vasta korjaustöiden laadun varmistuksen yhteydessä. Merkkiainekaasun leviäminen voidaan tarkistaa tekemällä tarkistusreikä tiiviin kerroksen läpi, jos merkkiainekaasua ei havaita tulevan tutkittavan rakenteen läpi. Kun jo aiemmin tulleen kaasun puhaltaa pois löydetyn vuotokohdan alueelta, vetyanalysaattori havaitsee uuden vuotokohdasta tihkuvan merkkiainekaasun, jolloin tiedetään tarkalleen kyseinen vuotokohta. [13.]

Merkkiainekaasun havainnointi voidaan aloittaa, kun merkkiaineen on annettu levitä tarpeeksi pitkään. Vetyanalysaattorilla tutkitaan rakenteet kauttaaltaan tarkasti ilmavuotokohtien löytämiseksi ja suuruuden arvioimiseksi. Tutkittavaa aluetta voidaan puhalttaa jo vuotokohdasta läpitulleen kaasun pois saamiseksi, jonka jälkeen vetyanalysaattorilla saadaan vuotokohta paikannettua tarkemmin. Kuvassa 19 vetyanalysaattorilla on paikallistettu ulkoseinän ilmavuotokohta. [13.]



Kuva 19. Vetyanalysaattorilla (kullanvärinen kärki) on ilmavuotokohdaksi paikallistettu tiilimuurauksen halkeama.

Havaitut vuotokohdat merkitään esimerkiksi oranssilla teipillä, dokumentoidaan huolella ja kirjataan pohjakuviin. Merkkiainekokeiden aikana on hyvä seurata että tutkittavan tilan alipaineisuus pysyy koko tutkimusten ajan sopivana. Kuvassa 20 on tyypillisiä vuotokohtia ja esitetty niiden dokumentointi. [13.]



Kuva 20. Tyypillisiä alapohjan ilmavuotokohtia esitettynä pohjakuvassa.

Provepadillä merkkiainekokeissa havaitut ilmavuotokohdat voidaan merkitä valokuvilla ja suoraan Provepadillä valokuvuihin lisättävien nuolien ja ympyröiden avulla. Valokuvien lisäksi merkkiainekokeiden vuotokohdat merkitään myös pohjakuviin, joko pdf-muokkausohjelmalla tai paperiin tulostetulle pohjakuvalle. Käyttämällä Provepadia

merkkiainekokeiden ilmavuotokohtien merkitsemiseen valokuvilla nopeuttaa merkkiainekokeiden raportointia, kun valokuvia ei tarvitse erikseen siirtää kameralta koneelle, jonka jälkeen siirtää yksi kerrallaan raporttiin.

### 3.3 Johtopäätökset ja korjausehdotukset

Tutkimuksissa kerättyjen tietojen perusteella arvioidaan kosteusvaurioiden ja sisäilmaongelmien vauriot ja vaurioiden aiheuttajat. Kaikkien rakenteiden vauriot ja niiden vaikutukset mietitään kokonaisuutena. Vaurioista arvioidaan niiden laajuus ja miten vauriot vaikuttavat sisäilmanlaatuun. Vaurioiden syntymekanismi päätellään tulosten ja lähtötietojen perusteella. Todellisten rakenteiden kosteus- ja lämpötekkinen toiminta mietitään rakennefysiikan perustein. Arvioidaan johtuvatko vauriot itse rakenneratkaisusta vai jostain muusta rasituksesta esimerkiksi liiallisista ilman suhteellisista kosteuspitoisuuksista. Joskus joudutaan miettimään johtuvatko vauriot huollon laiminlyönnistä, rakenteiden tai materiaalin normaalista vanhenemisesta vai onko kyseessä ollut rakenus- tai suunnitteluvirhe. [1, osa 1 s. 23–28; 5, kappale 4, s. 4-5.]

Vaurioiden ja niiden syntymekanismin perusteella mietitään muutama korjausehdotus. tavoitteena on saada erihintaisia korjausvaihtoehtoja tilaajalle, mutta suositella aina pitkäikäisintä ja varmintä korjausvaihtoehtoa. Korjausehdotukset esitetään pääpiirteittäin tekstimuodossa, sillä korjaussuunnittelu toteutetaan yleensä erillisenä projektina. On kuitenkin tärkeää että kuntotutkijat ja korjaussuunnittelija tekevät tiivistä yhteistyötä, jotta kuntotukija osaa tutkia korjaussuunnittelun kannalta tärkeitä seikkoja, ja jotta korjaussuunnittelija saa tutkimustulokset mahdollisimman nopeasti. Kun korjaussuunnittelija ja kuntotukija tekevät tiivistä yhteistyötä vältetään myös väärinymmärrysten mahdollisuuksia paremmin ja korjaussuunnittelu onnistuu paremmin. Sisäilmaongelmien lähteet tulisi selvittää ja korjata mahdollisimman nopeasti, sillä niihin reagoivat henkilöt tulevat altistumisen myötä entistä herkemiksi, eli reagoivat entistä pienempiin epäpuhtauspitoisuuksiin. Pienempien epäpuhtausmäärien poistaminen on paljon hankalampaa kuin suurien määrien. [1, osa 1, s. 23–28; 5, kappale 4, s. 4-5.]

Johtopäätöksien kirjoittamisen voi aloittaa heti kun joitain tutkimustuloksia on saatu. Lopulliset johtopäätökset ja korjausehdotukset tehdään kuitenkin vasta kun kaikki tutkimustulokset on saatu. Johtopäätöksiä ja korjausehdotuksia voidaan kirjoittaa Provenadista saatuun raporttipohjaan, jossa tutkimustulokset on jo valmiiksi kirjoitettuna.



Analyysivastauksia tai niiden tulkintaa ei saa suorana Provepadiin kirjattua, joten ne pitää kirjata raporttiin erikseen.

### 3.4 Raportointi

Tutkimusten tulokset esitetään selkeästi tutkimusselostuksessa. Tutkimusselostus sisältää aina tuloksista tehtävät johtopäätökset ja niiden perusteella tehtävät korjausehdotukset. Tärkeää on erotella selkeästi tutkimusten tulokset ja niistä tehdyt johtopäätökset toisistaan. Tutkimusselostus kirjoitetaan mahdollisimman selkeästi ja yksiselitteisesti. Valokuvien käyttäminen tutkimusselostuksessa on suositeltavaa. [5, kappale 4.] Tutkimusten raportin tekeminen kannattaa aloittaa jo samaan aikaan kenttätutkimusten kanssa, se nopeuttaa raportin saamista valmiiksi ja tehdyistä tutkimusta saadaan kirjattua tulokset ylös, kun ne ovat vielä tuoreena muistissa.

Rakenneavausten sijainnit esitetään paikannuskaaviossa ja valokuvilla. Rakenneavauksen havainnot ja kunto esitetään raportissa sekä avauksessa todettu rakenne kuvataan raportissa selkeästi. Avauksesta tehdyt mittaukset ja mahdolliset materiaalinäytteiden analyysien tulokset esitetään lyhyesti ja esimerkiksi laboratorioanalyysien tarkemmat vastaukset voivat olla selostuksen liitteenä. Mittaustuloksia voidaan esittää tarkemmin myös omassa kappaleessaan. Tutkimuksissa käytetyt tutkimustavat ja menetelmät tulee esittää tutkimusraportissa. Ne voivat myös olla selostuksen liitteenä, jolloin kyseiseen liitteeseen viitataan itse tekstissä. [5, kappale 4.]

Provepad auttaa raportointia, sillä suurin osa tutkimushavainnoista saatiin suoraan Provepadista yrityksen omiin raporttipohjiin. Raporttipohjat tehtiin yrityksen tarpeiden ja yleisten kuntotutkimusraporttiohjeiden avulla. Provepadilla havainnot ja tulokset saadaan heti havaintojen ja tutkimusten jälkeen kirjoitettua ylös, jo kenttätutkimusten aikana.

## 4 Kohteen tutkimustulosten analysointi ja johtopäätökset

Tutkimuskohteen tulokset analysoitiin ja niistä tehtiin johtopäätökset rakenteen kosteusteknisestä kunnosta ja sisäilmaolosuhteista. Johtopäätöksiin kuuluu myös erihintaiset korjausvaihtoehdot. Liitteessä 3 on opinnäytetyön tutkimuskohteen tutkimusraportti, joka jää yrityksen käyttöön.

## 4.1 Aistinvaraiset havainnot

### 4.1.1 Piha-alueet ja julkisivut

Rakennuksen piha-alueilla kallistukset olivat pääasiassa hyvät. Yhdellä, läntisellä, julkisivulla kallistukset olivat kohti rakennusta ja istutuksia oli aivan ulkoseinän vieressä. Kyseisen seinän sokkelissa näkyi kosteusvaurioita. Kuvassa 21 näkyy sokkelin kosteusvaurioita. Piha-alueen kallistukset tulee korjata ja istutukset poistaa ulkoseinän vierestä kosteusvaurioiden välttämiseksi. Kohteen julkisivun elementti- ja liikuntasaumamat olivat huonossa kunnossa, ne olivat halkeilleen ja kuivuneet.



Kuva 21. Kosteusvaurio sokkelissa

Piha-alueen aistinvaraiset tutkimukset tehtiin ennen kuin Provepad saatiin testattavaksi kunnolla. Piha-alueen aistinvaraisissa tutkimuksissa Provepadin voi todeta olevan toimiva apuväline vesikaton aistinvaraisissa tutkimuksissa tehdyn testauksen perusteella.

### 4.1.2 Vesikatto

Vesikaton kermissä havaittiin paljon kupruja ja ryppyjä. Ne voivat johtua siitä että vain pintakermi on uusittu ja ala oleva vanha kermi on ollut huonossa kunnossa. Pintakermissä havaittiin myös kuluman jälkiä. Kermin saumat repsottivat useasta kohdasta. Erityisesti kattoikkuna alueella vesi lammikoitui repsottavien kermisaumojen päälle. Kattoikkunoiden vesivuodot aiheutuvat todennäköisesti tästä. Vesikatossa havaittiin yksi akuutti vuotokohta. IV-konehuoneen ulkoseinän liittymän lähellä kermin alla kuului

olevan vettä ja sitä pursusi kuprua painettaessa kermissä olevasta saumasta. Kuvassa 22 on kermin alla oleva vesitasku ja vuotokohta. Yhdestä kattokaivosta puuttui suojakupu ja se tulisi laittaa paikallaan mahdollisimman nopeasti. Kattokaivot olivat muuten hyvässä kunnossa. Paikoin suojapellitysten yläreunan kittaukset olivat halkeilleet ja irti pellityksestä ja paikoin suojapellityksen yläreunan kittaus oli jo uusittu vesikaton paikakausten yhteydessä. Sauman kittauksen irtoaminen johtuu todennäköisesti saumamateriaalin vanhenemisesta. Kittaukset suositellaan uusimaan kokonaan.



Kuva 22. Kermin vesitasku ja vuotokohta.

Vesikaton aistinvaraisissa tutkimuksissa Provepadin todettiin olevan hyvä apuväline. Havainnot sai kirjattua nopeasti ylös valmiita havaintoja klikkaamalla ja valokuvat tulivat suoraan valmiiseen raporttipohjaan. Tablettia on paljon kätevämpi käyttää kuin pape-reita, sillä tabletti kestää kuorensa ansiosta pientä sadetta, eikä lähde tuulen mukana liikkeelle.

#### 4.1.3 Ryömintätilat

Ryömintätilan aistinvaraisissa tutkimuksissa havaittiin alapohjan alapinnassa tiivistynyttä kosteutta. Ryömintätilan pohja oli kevytsorapapua. Pohjan kevytsorapavussa havaittiin kosteusjälkiä ja paikoin huurretta. Ryömintätilan tuuletus todettiin puutteelliseksi, korvausilmaputket olivat osittain tukkeutuneet, sekä osa tuuletusputkista oli kokonaan

kevytsorapapujen peitossa. Ryömintätilan tuuletus suositellaan korjaamaan riittäväksi niin, että se pitää ryömintätilan kuivana

Ryömintätilan tutkimuksia tehdessä testattiin Provepadin käyttöä tabletilla. Kontatessa ryömintätilassa isohko tabletti oli kömpelö ja tabletti piti jättää sivuun jo heti alussa ja ottaa pieni veden ja iskunkestävä taskukamera käyttöön. Ryömintätilan mahdollinen kosteus ja suuri pölynmäärä voi myös mahdollisesti vaurioittaa tablettia.

#### 4.2 Rakenneavaukset ja materiaalinäytteet

Rakenneavausten perusteella todettiin että, alkuperäisten tiili-villa-tiili-rakenteisten ulkoseinien eristeen olevan mikrobivaurioitunut. Kuvassa 23 näkyy tummunutta villaa ja puutteellinen tuuletusrako. Näissä rakenteissa tuuletusrako oli hyvin puutteellinen. Villa oli lähellä julkisivumuurausta ja muurauksen saumalaasti pursusi reilusti tiilien yli. Kirjaston ja liikuntasalin seinissä avausten perusteella oli mineraalivillan ja tuuletus raon välissä 25 mm paksu Tyvek-pintainen mineraalivilla tuulensuojalevy sekä, toimiva tuuletusväli. Näissä uusituissa ulkoseinärakenteissa ei havaittu rakenneavauksissa eikä materiaalinäytteissä viitteitä vaurioista. Materiaalinäytteiden perusteella sisäpuolelta muurattujen ulkoseinien mineraalivilloissa oli viite mikrobivauriosta.



Kuva 23. Tummunutta villaa ja tukkeutunut tuuletusrako

Vesikaton avauksista todettiin, että vesikatteessa on useampi kermikate, eli vesikattoa on korjattu lisäämällä vanhan päälle uusia kermikerroksia. Avauksissa myös todettiin,

että ontelolaatan ja kevytsoraeristeen välinen höyrynsulku puuttuu. Rakenne poikkeaa siis alkuperäisistä suunnitelmista.

Rakenneavauksissa provepadin toimivuutta ei päästy testaamaan kunnolla opinnäytetyöhön liittyvässä kohteessa. Perustiedot ja yleiskuvat voisi kuitenkin kirjata avauksista Provepadillä. Pientä taskukameraa kuitenkin on tarpeen käyttää avauksien tarkemmassa valokuvaamisessa, ja rakenneavaus on hyvä piirtää paperille, jotta tulee varmasti tutkittua avaus tarpeeksi tarkasti erityisesti rakenteiden liittymien kannalta. Eventizeria pyydettiin tekemään rakenneavauksia varten taulukko, johon rakennekerrokset saisi kirjattua paremmin. Liittyvien rakenteiden ylöskirjaamiseen rakenneavausten taulukko ei kuitenkaan toimi.

#### 4.3 Kosteusmittaukset

Kosteusmittaukset päästin toteuttamaan myöhässä alkuperäisestä aikataulusta vasta ryömintätilojen katselmoinnin jälkeen, jolloin maanvastaisen alapohjien sijainnit voitiin varmistaa. Kosteusmittauksissa tehtiin pintakosteuskartoitus muovimatollisiin ala- ja välipohjiin, viiltomittauksia sekä porareikämittauksia. Kosteusmittauksissa ei havaittu liian suuria kosteuspitoisuuksia.

Kosteusmittauksia varten Provepadissa on taulukot, joihin saa viilto- ja porareikämittausten tulokset kirjattua. Pintakosteuskartoitusta varten mittausarvot pitää saada kirjattua suoraan pohjakuvaan, jotta kokonaisten tilojen kohonneet arvoit voi hahmottaa selkeämmin. Tätä varten paperinen A3-koon pohjakuva on kätevämpi kuin pienehkö tabletti.

#### 4.4 Sisäilmaolosuhteiden tutkimukset

Pyyhintäpölynäytteistä ei löytynyt rakennusmateriaalipölyä tai esimerkiksi asbestia. Kaikista näytteistä löytyi kuitenkin runsaasti ulkoilmapölyä, joka kertoo joko ilmanvaihdon puutteellisesta puhdistuksesta, suodattimen ohi tapahtuvasta ohivirtauksesta tai muusta viasta, tai siitä että kohteessa käytetään paljon ikkunatuuletusta.

Hiilidioksidipitoisuuksien mittauksissa yhdessä tilassa hiilidioksidipitoisuuden arvo ylitti asumisterveysasetuksen toimenpide raja-arvon. Hiilidioksidipitoisuuden toimenpidearvo

on 1150 ppm suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus. Jos ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta ei ole mitattu, voidaan arvona käyttää 400 ppm. Ylittynyt arvo kertoo puutteellisesta ilmanvaihdosta tilan käyttöaikana. Tilojen mitatut suhteelliset kosteusarvot olivat normaaleja eivätkä aiheuta mikrobikasvuston riskiä rakenteisiin tai niiden pintoihin. Tilojen mitatut lämpötilat olivat asumisterveysasetuksen mukaisten toimenpiderajojen sallimissa lukemissa yhtä tilaa huolimatta. Yhdessä tilassa lämpötila laski kolmena päivänä 19 °C kello 0.00-12.00 välillä. Asumisterveysasetuksen mukaan opetustilojen lämpötilan toimenpiderajat ovat +20 - 32 °C.

Merkkiainekokeissa todettiin useita ilmavuotoja ulkoseinän ja alapohjan eristetiloista sisäilmaan. Mahdolliset epäpuhtaudet pääsevät kulkeutumaan niitä kautta sisäilmaan. Tuulikaapin hajuhaitat pääsevät sisäilmaan alapohjan eristekerroksesta todettujen il-  
mavuotojen kautta.

Sisäilmaolosuhteiden tutkimuksissa Provepadista on hyötyä lähinnä merkkiainekokeissa, joissa valokuvat sai kätevästi suoraan raporttipohjaan. Seurantamittauksissa tulokset pitää joka tapauksessa purkaa loggereiden omalla ohjelmalla. Merkkiainekokeissa Provepadilla saa valokuvat ja havaitut ilmavuodot nopeasti suoraan raporttipohjaan, mikä nopeuttaa toimistolla raportin kirjoittamista. Merkkiainekokeita varten voisi tehdä oman tarkistuslistan, sillä merkkiainekokeista usein tehdään oma erillinen muistio tai liite.

#### 4.5 Kokonaisuuden arviointi, johtopäätökset

Vesikaton kermikate on huonossa kunnossa, erityisesti kermin saumat repsottivat ja kermissä oli useita kupruja ja pehmeitä kohtia. Vesikate on ainakin kerran korjattu lisäämällä vanhan päälle uusi pintakermi. Vesikaton kermit suositellaan vaihtamaan kokonaan uusiin, jotta toistuvista kattovuodoista päästäisiin eroon. Vesikaton katteen vaihtamisen yhteydessä suositellaan lisäämään puuttuva höyrynsulku ontelolaatan ja kevytsoraeristekerroksen väliin.

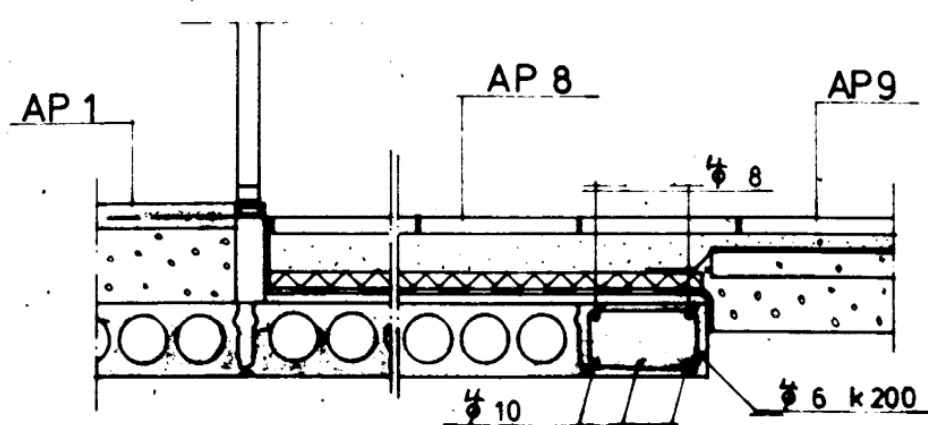
Ulkoseinien eristekerroksen mineraalivilloissa todettiin useita mikrobivaurioita. Kaksi seinistä oli aiemmissa korjauksissa uusittu ja niissä eristeet ja tuuletusraot olivat kunnossa. Tiili-villa-tiili-rakenteisista ulkoseinistä havaittiin ilmavuotoja sisäilmaan. Ul-

koseinistä, joissa oli vaurioita suositellaan vaihtamaan eristevillat ja tiivistämään sisäpuolelta muurattujen seinien liittymät ja läpiviennit.

Myös alapohjien eristetiloista voi kulkeutua epäpuhtauksia sisäilmaan todettujen ilma- vuotojen kautta, joten alapohjien liittymät ja läpiviennit suositellaan tiivistettävän.

Tuulikaapin hajuhaitat paikallistettiin merkkiainekokeilla tulevan alapohjan kevytsora-papueristetilasta sisäilmaan alapohjan liittymistä sekä liittyvää väliseinää pitkin. Tuulikaapin tiiliväliseinä ja alapohja tiivistetään muiden rakenteiden tavoin.

Tutkimusten loputtua tuulikaapin kohdalta saatiin kuvan 24 leikkauskuva. AP1 on tuulikaapin alapohjaa ja AP8 on tuulikaapin edustavalla oleva ryömintätalallinen pihakansi. Ulkoseinälinjalla AP1:n ja AP8:n liittymään muodostuu rakenteellinen kylmäsilta, mikä voi osittain selittää ryömintätilasta havaittua runsasta kosteutta.



Kuva 24. Tuulikaapin ja edustan pihakannen liittymä

Tiivistystöiden yhteydessä on tärkeää seurata ja säätää kohdilleen rakennuksen ilmanvaihto kokonaisuuden toimivuuden varmistamiseksi. Sisätilat tulee säätää alipaineiseksi (alle 5 Pascalia), sekä ryömintätila alipaineiseksi sisäilmaan nähden.

Tiivistyskorjaus on usein väliaikainen tai tekniseltä käyttöikänsä lyhytaikaisempi korjausratkaisu kuin vaurioituneiden materiaalien vaihtaminen. Tiivistyskorjausten ikä riippuu korjaus ehdotusten kokonaisuudesta ja työn huolellisuudesta. Suositeltavaa olisi vaihtaa vaurioituneet eristeet kokonaan ja uusia sekä korjata samalla rakenteet rakennusfysikaalisesti toimiviksi. Esimerkiksi julkisivuverhouksen takana on syytä olla tar-

peeksi suuri tuuletusväli, ja eristeen ja tuuletuslevyn välillä on hyvä olla tuulensuoja levy.

Provepadilla suurin osa tuloksista tulee suoraan raporttipohjaan, jonka kirjoittamista voi jatkaa johtopäätöksien ja korjausehdotusten osalta. Tutkimustulosten kokonaisuutta on helpompi arvioida, kun kaikki tulokset on kirjattuna raporttiin ja tuloksia voi käydä luke-massa tarvittaessa uudestaan.

## **5 Provepadin käytön kehitys**

Tässä luvussa kerrotaan lyhyesti Provepadin käytön kehityksestä. Tarkemmin Provepadin käytöstä ja käytön kehityksestä on kerrottu liitteessä 1, joka jää yrityksen käyt-töön.

Provepad on mobiililaitteisiin kuntoarvioita varten tehty ohjelma. Tarkastuksen aikaiset havainnot ja muistiinpanot kirjoitetaan tabletin sovelluksella ylös. Sovellus huolehtii, että muistiinpanot ja kohteesta otetut kuvat siirtyvät valmiiseen MS Word - raporttipohjaan. [14.] Mobiilisovellusta voi käyttää myös älypuhelimella, mutta sitä ei testattu tämän opinnäytetyön yhteydessä.

Sovellusta on käytetty tähän mennessä eniten asuinrakennusten ja asuntojen kuntotar-kastuksiin. Ne eroavat suuresti laajemmista kuntotutkimuksista, ja vastaavat lähimmin kuntotutkimuksen alkuvaiheessa tehtävää alkukartoitusta. Alkukartoituksessa tutkimus-suunnitelmaa varten (ja kuntoarvioissa) tehdään lähinnä aistinvaraisia havaintoja ja arviointeja kohteessa, joiden kirjaamiseen Provepad soveltuu hyvin. Kuntotutkimuksis-sa tehdään erilaisia rakenneavauksia, mittauksia ja näytteenottoja, joiden dokumen-toinnissa sekä ylös kirjoittamisessa Provepadista voi myös olla hyötyä.

Provepadin toiminta perustuu erilaisiin tarkistuslistoihin, joiden sisältö valitaan yrityksen käytäntöjen ja tarpeiden mukaisesti. Tutkimussuunnitelmaa varten tarkistuslistaan teh-tiin rakenneosittain tehtäviä havaintoja varten eri otsikoita ja niihin liittyviä tarkistuslistan kysymyksiä. Tutkimussuunnitelman tarkistuslistaa testattiin opinnäytetyön tutkimuskoh-teessa tutkimussuunnitelmavaiheessa ja muissa aistinvaraisissa tarkastuksissa. Pro-vepadista tuleva raporttipohjaa muokattiin yrityksen käyttöä varten sopivaksi.



Kenttätutkimusvaihetta varten tutkimussuunnitelman tarkistuslistaan lisättiin laajemmin erilaisia taulukoita ja havaintovaihtoehtoja. Kenttätutkimuksia varten tarkistuslistaan lisättiin muun muassa kosteusmittauksia varten taulukoita. Osittain tutkimussuunnitelman vaiheen provepad testausta voi soveltaa kenttätutkimuksien tarkistuslistaan. Kenttätutkimuksissa tablettia ja Provepadia testattiin enemmän tutkimusten päätyttyä, tarkistuslistan eri kohtia täytettiin ja valokuvien muokkaustoimintoja testattiin toimistolla. Provepadilla voi käyttää puheentunnistus ohjelmaa, jos tarkistuslistassa ei ole sopivaa havaintovaihtoehtoa valmiina, mikä nopeuttaa tutkimusten tekemistä.

Opinnäytetyöhön liittyvän kohteen tutkimukset etenivät kesän aikana suunnitellulla tavalla. Provepadin käytön kehitystä päästiin testaamaan hiukan alkuperäisestä aikataulusta myöhässä. Kohteen tutkimusten ohella Provepadia päästiin testaamaan tutkimussuunnitelman tarkistuslistan osalta kenttätutkimusten aikana. Kuntotutkimusten tarkistuslistan toimivuutta voitiin arvioida alustavasti tutkimussuunnitelman tarkistuslistan avulla hyvin. Opinnäytetyön edistyminen ei vaikeutunut merkittävästi, vaikka kohteen tutkimukset suoritettiin loppuun ennen Provepadin kaikkien ominaisuuksien testausta. Tämä auttoi hahmottamaan paremmin kuntotutkimusten kokonaisuuden, minkä perusteella oli helpompi havaita mitä ominaisuuksia Provepadiin haluttiin.

Tärkeäksi kohdaksi käytön kehitystä muodostui Provepad-ohjelman tehneen ja kehittävän yrityksen, Eventizerin, kanssa käyty sähköpostikeskustelu. Sähköpostien ja muutamien kokousten perusteella Eventizerille kerrottiin, mitä ominaisuuksia tarkistuslistaan haluttiin Rambollin tutkimusryhmän käyttöön. Erityistä huomiota piti kiinnittää asioiden selkeästi ja tarpeeksi laajasti esittämiseen, jotta rakennustekniikkaa tuntematonkin henkilö ymmärtäisi, mitä ohjelman kehitykseltä toivottiin. Kuntotutkimuksiin liittyvään termistön selittäminen selkeästi on tärkeää tilanteissa, joissa ollaan tekemisissä eri alojen henkilöiden parissa, esimerkiksi on tärkeää selventää kuntoarvion, kuntotutkimusten ja kenttätutkimusten erot.

Provepadia varten Rambollin raporttipohjista muokattiin opinnäytetyötä tehdessä raporttipohjaluonnokset, jotka sen jälkeen lähetettiin Eventizerille. Eventizer istutti raporttipohjien luonnokset tarkistuslistoihin. Tarkistuslistaan kirjatut havainnot, toimenpidehdotukset, valokuvat ja muut tiedot siirtyvät tämän jälkeen suoraan Rambollin käyttämiin raporttipohjiin.

Provepad soveltuu aistinvaraisten katselmointien, esimerkiksi vesikaton katselmointiin, tekemiseen hyvin. Muissa tutkimuksissa Provepad toimii hyvin muistiinpanojen apuvälineenä.

## 6 Yhteenveto ja loppupäätelmät

Ympäristöoppaan 2016 luonnoksesta julkaistiin lopullinen versio opinnäytetyön loppuvaiheilla, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Lopullista versiota verrattiin luonnokseen. Lopullista ympäristöopasta käytettiin opinnäytetyön lähteenä ja opinnäytetyön raporttia muokattiin uusiksi sen perusteella.

Tutkimussuunnitelman Provepadissa oleva tarkistuslista saatiin opinnäytetyön aikana tehtyä hyvin pitkälle valmiiksi. Provepadilla saadaan nopeutettua tutkimussuunnitelman tekoa, ja muistiinpanojen määrä vähenee huomattavasti. Tutkimussuunnitelmaa vaiheessa kohde käydään tiloittain läpi ja huomiot ja toimenpide-ehdotukset tutkimuksia varten kirjoitetaan ylös Provepadilla. Tutkimussuunnitelman tarkistuslistaan tiloittain kirjatut huomiot ja toimenpide-ehdotukset tulevat raporttiin halutussa järjestyksessä.

Tutkimuksia tehdessä Provepadia voidaan soveltaa käytettäväksi vain tietyiltä osilta. Erityisesti aistinvaraisiin tutkimuksiin Provepad soveltuu hyvin, esimerkiksi vesikaton katselmointiin. Provepadia voisi mahdollisesti kehittää käytettäväksi myös esimerkiksi julkisivututkimuksiin. Ahtaiden paikkojen aistinvaraisissa tutkimuksissa isohkolla tabletilla käytettävä Provepad ei toimi kovin hyvin, vaan pieni veden kestävä pokkarikamera on kätevämpi havaintojen valokuvaamisessa. Myös rakenneavauksissa pieni kamera on kätevämpi, koska se mahtuu rakenneavauksista sisälle jolloin avauksista saa paremmat kuvat. Älypuhelimella käytettynä Provepadia voisi mahdollisesti käyttää täydentämään tabletin puutteita, esimerkiksi ryömintätilan tutkimuksissa.

Tutkimusvaiheessa Provepadista saatavasta raporttipohjasta on hyötyä lopullisen kuntotutkimusraportin kirjoittamisessa. Provepadista saatavasta raporttipohjasta voi ylöskirjatut huomiot ja tutkimustulokset kopioida lopulliseen raporttipohjaan, eikä kaikkea tarvitse kirjoittaa uusiksi käsinkirjoitettujen muistiinpanojen pohjalta. Provepadiin tallennetut muistiinpanot ovat myös helpommin muiden työntekijöiden luettavissa kuin paperiset muistiinpanot, jos tutkimusten tekijää joudutaan vaihtamaan jostain syystä. Provepadista saatavaa raporttia voi myös käyttää suoraan sellaisenaan pohjana kuntotutki-

musraporttiin, ja puuttuvat tutkimukset, esimerkiksi olosuhdeseurantamittaukset ja korjausehdotukset lisätä raporttipohjaan.

Opinnäytetyöhön liittyvän kohteen tutkimukset saatiin suoritettua loppuun elokuun aikana. Tutkimussuunnitelmavaiheeseen Provepadin tarkistuslista saatiin muokattua yrityksen käyttöön sopivaksi. Provepadin ominaisuuksia ja otsikoiden käyttöä muokattiin yrityksen toiveiden mukaisesti. Muokkausten jälkeen Provepadia testattiin uudelleen. Kenttätutkimusvaiheessa Provepad toimii muistiinpanojen kirjoittamisen apuvälineenä. Provepadin käyttö vähentää paperisia muistiinpanoja ja nopeuttaa raportin kirjoittamista toimistolla.

Lopputuloksena yritykselle tehtiin Provepad-liite, joka on ohje tutkijalle Provepadin käyttämisestä. Jatkokehitysideana voisi olla käyttöoppaan laatiminen tarkistuslistan tekemiselle ja muuttamiselle.

Kenttätutkimuksiin paremmin soveltuvaa tarkistuslistaa voidaan kehittää sovelluksen jatkokehityksissä. Siihen asti tutkimussuunnitelman tarkistuslistaa voi soveltaen käyttää kenttätutkimuksiin. Provepadin käytön kehitystä voidaan jatkaa myös älypuhelimeen asennetun Provepadin avulla. Älypuhelimessa olevalla sovelluksella Provepadia voisi käyttää laajemmin tutkimuksissa kuin isohkolla tabletilla. Älypuhelimessa olisi käytössä samat tarkistuslistat kuin tabletilla. Merkkiainekokeita varten Provepadiin voidaan jatkokehityksessä tehdä oma tarkistuslista, jolloin valokuvat ja havaitut ilmavuotokohdat tulisivat suoraan merkkiainekoemuistioon. Muita mahdollisia jatkokehitysideoita on tehdä omat tarkistuslistat kosteusmittauksille tai julkisivututkimuksille.

## Lähteet

1. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. 2008. Vammala: Opetushallitus. Osa 1, Vesa Asikainen. Osa 2, Susanna Peltola.
2. Toimivat katot. 2013. Kattoliitto.  
[http://www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat\\_Katot\\_2013\\_reduced\\_size\\_.pdf](http://www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat_Katot_2013_reduced_size_.pdf) (luettu: 12.7.2016)
3. Rakennusfysiikka 1 - Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. RIL 255-1-2014. 2014. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki.
4. Rakennusten veden- ja kosteuseristysohjeet, RIL 107-2012. 2012. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Saarijärvi, 2. painos
5. Ympäristöopas 28:n uudistuksen luonnos. Verkkodokumentti. [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Lausuntopyynnot\\_ja\\_lausuntoyhteenvedot/2015/Lausuntopyynto\\_luonnoksesta\\_rakennusten\\_\(32552\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Lausuntopyynnot_ja_lausuntoyhteenvedot/2015/Lausuntopyynto_luonnoksesta_rakennusten_(32552)) (luettu: 12.5.2016)
6. Kosteus, määräykset ja ohjeet. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C2. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Verkkodokumentti. <http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf> (luettu: 17.5.2016)
7. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osat 1-5. 2016. Valvira, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, 8/2016
8. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. Lappalainen Sanna, Reijola Kari. 2016 Työterveyslaito. Helsinki.
9. Asumisterveysopas. 2009. Ympäristö ja Terveys-lehti. Vaasa, 3. korjattu painos.
10. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, RT 14-10984. 2010. Rakennustietosäätiö.

11. Pölynäytteen ottaminen pyyhintämenetelmällä. 2015. Työterveyslaitos. Verkkodokumentti. [http://www.ttl.fi/fi/palvelut/turvallisempi-tyoymparisto/poly-hiukkas-ja-kuituanalyysit/Documents/Polynaytteen\\_ottaminen\\_pyyhintamenetelmalla.pdf](http://www.ttl.fi/fi/palvelut/turvallisempi-tyoymparisto/poly-hiukkas-ja-kuituanalyysit/Documents/Polynaytteen_ottaminen_pyyhintamenetelmalla.pdf) (luettu 11.5.2016)
12. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje, RT 80-10974, LVI 01-10450.
13. Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein. RT 14-11197, LVI 014-10565, KH 90-00577, Rakennustietosäätiö, 2015.
14. Provepad. <http://www.provepad.fi/> (luettu 11.5.2016)
15. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö